

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр
(ступінь вищої освіти)

**на тему: «Розробка ресурсозберігаючої технології термічної обробки
ресор зі сталі 50ХФА»**
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи
ІФз-221сп

Канигін Богдан Ігорович
Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник Ткач Д.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет **інженерно-фізичний**
 Кафедра **фізичного матеріалознавства**
 Ступінь вищої освіти **бакалавр**
 Спеціальність **132 Матеріалознавство**
 Освітня програма (спеціалізація) **Прикладне матеріалознавство**
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ
 « _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Канигін Богдан Ігорович
 (ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) **Розробка ресурсозберігаючої технології термічної обробки ресор зі сталі 50ХФА**

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. Ткач Дар'я Володимирівна,
 (науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « ____ » _____ 20__ року № ____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Об'єкт дослідження - технологічний процес термічної обробки ресор зі сталі 50ХФА. Завдання дослідження: детальний аналіз хімічного складу та властивостей сталі 50ХФА; Розробка ресурсозберігаючої технології для термічної обробки ресор; вивчення впливу високотемпературної термомеханічної обробки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів. Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення. Характеристика матеріалів виробів. Характеристика сталі 50ХФА. Розробка режимів та технологій термічної обробки. Економіко-організаційна частина. Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Характеристика та умови експлуатації виробів. Фактори що впливають на довговічність ресор. Маршрутна технологія виготовлення ресор. Характеристика сталі 50ХФА. Режим термічної обробки і механічні властивості (мінімальні) ресорно-пружинних сталей загального призначення. Графік термічної обробки ресори підвіски зі сталі 50ХФА. Карта технологічного процесу термічної обробки пружини зі сталі 50ХФА. Види дефектів термічній обробці пружин та заходи по їх усуненню та попередженню. Схема термомеханічної обробки сталі 50ХФА

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	доц. Д.В. Ткач		
7	доц. О.В. Нестеров		
нк	ст.викл. Є.О. Фасоль		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів		
2	Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення		
3	Характеристика матеріалів виробів		
4	Розробка режимів та технологій термічної обробки		
5	Технічний контроль, попередження та виправлення браку		
6	Підвищення експлуатаційних властивостей ресор застосуванням високотемпературної термомеханічної обробки		
7	Охорона праці та безпека життєдіяльності		

Студент(ка) _____ **Богдан КАНИГІН**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи) _____ **Дар'я ТКАЧ**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 74 с., 8 табл., 7 рис., 1 дод., 10 джерел.

СТАЛЬ 50ХФА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ГАРТУВАННЯ, ВІДПУСК, ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНА ТЕРМОМЕХАНІЧНА ОБРОБКА, МІЦНІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Об'єкт дослідження: термічна обробка ресор зі сталі 50ХФА.

Мета дослідження: розробка ресурсозберігаючої технології для термічної обробки ресор зі сталі 50ХФА, яка враховує особливості матеріалу та націлена на підвищення його експлуатаційних властивостей.

В роботі розглядаються особливості легування сталі 50ХФА, що включає хром та інші легуючі елементи, для поліпшення її міцності, твердості та пластичності. Аналізується вплив різних параметрів термічної обробки на кінцеві властивості сталі. Особлива увага приділена високотемпературній термомеханічній обробці, яка демонструє велике практичне значення для підвищення якості ресорно-пружинної сталі. ВТМО сприяє формуванню оптимальної мікро- та субструктури в сталі, підвищуючи її механічні властивості.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	6
1 Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	8
2 Номенклатура виробів та маршрутна технологія їх виготовлення.....	14
2.1 Номенклатура виробів з пружинно-ресорних сталей	14
2.2 Маршрутна технологія виготовлення ресор	17
2.3 Вплив якості поверхні на властивості ресор.....	22
3 Характеристика матеріалів виробів	24
3.1 Загальна характеристика матеріалів, що застосовують для виготовлення пружинних елементів.....	24
3.2 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості ресорно-пружинних сталей.....	27
3.3 Характеристика сталі 50ХФА.....	29
4 Розробка режимів та технологій термічної обробки	34
4.1 Вплив параметрів термічної обробки на витривалість ресор.....	34
4.2 Розробка технології термічної обробки ресор зі сталі 50ХФА.....	41
5 Технічний контроль, попередження та виправлення браку	49
6 Підвищення експлуатаційних властивостей ресор застосуванням високотемпературної термомеханічної обробки	54
7 Охорона праці та безпека життєдіяльності	60
7.1 Аналіз потенційних небезпек	60
7.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки	61
7.3 Заходи із забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці	64
7.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки.....	69
Висновки	72
Перелік використаних джерел	73
Додаток А	71

ВСТУП

Пружинно-ресорні сталі відіграють фундаментальну роль у сучасній промисловості, оскільки є ключовим компонентом в широкому спектрі застосувань. Ці спеціалізовані сталі характеризуються високою міцністю, стійкістю до зношування та здатністю витримувати значні навантаження та деформації, що робить їх ідеальними для виготовлення пружин, ресор та інших компонентів, які вимагають високої гнучкості та довговічності.

У автомобілебудуванні, пружинно-ресорні сталі використовуються для виготовлення ресор та підвісок, що забезпечують комфортну та безпечну їзду. В залізничному транспорті, ці матеріали використовуються для створення елементів підвісної системи вагонів, що забезпечує стійкість та плавність руху поїздів. У машинобудуванні та інших промислових секторах, пружинно-ресорні сталі використовуються у виготовленні різних пружин, які є невід'ємною частиною багатьох механізмів.

Важливість цих матеріалів полягає не лише в їх фізичних характеристиках, але й у їх універсальності та адаптивності до різних умов експлуатації. Сучасні технології дозволяють оптимізувати склад та обробку цих сталей, щоб задовольнити специфічні вимоги різних галузей. В результаті, пружинно-ресорні сталі є невід'ємною частиною промислового ланцюжка, відіграючи ключову роль у забезпеченні надійності, довговічності та ефективності виробів.

Розробка ресурсозберігаючих технологій термічної обробки набуває великої актуальності у сучасному виробництві, оскільки це не тільки сприяє значному зниженню енергоспоживання та витрат на сировину, але й підвищує ефективність виробництва, забезпечуючи вищу якість кінцевих продуктів. Такі інноваційні методи не лише сприяють збереженню природних ресурсів і зменшенню негативного впливу на навколишнє

середовище, але й забезпечують конкурентоспроможність підприємств на ринку за рахунок відповідності сучасним екологічним стандартам та регулятивним вимогам, стаючи ключовим елементом для виробничих підприємств, які прагнуть до екологічної сталості та технологічного лідерства.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

Підвіска автомобіля призначена для пом'якшення ударів і поштовхів, що сприймаються колесами від нерівностей дорожнього покриття, гасіння коливань рами або кузова та зниження динамічних навантажень на несучу систему.

Характеристики підвіски впливають на довговічність як самого автомобіля, так і багатьох його вузлів та деталей. У складних дорожніх умовах саме можливості підвіски, а не потужність двигуна, визначають середні та максимальні швидкості руху.

Основні робочі процеси в підвісці наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні робочі процеси в підвісці автомобіля

Робочий процес	Позитивні та негативні наслідки
Постійна зміна відстані між віссю колеса та несучою системою при передачі реакцій від колеса	- Втома пружин, ресор, стабілізаторів поперечної стійкості. Зношення ущільнень.
	+ Плавність руху.
Згинання пружин, ресор, закручування торсіонів, зменшення (збільшення) тиску в пневмопідвісці, збільшення (зменшення) жорсткості активних підвісок	- Втома металу пружин, ресор, торсіонів, стабілізаторів поперечної стійкості та злом. Зношення ущільнень.
	+ Плавність руху.
Резонансні коливання	-
Передача сил та моментів до та від коліс, згинання напрямних елементів	- Прогин. Зміна кутів установлення коліс.
Гасіння коливань автомобіля	+ Плавність руху.

амортизаторами	
----------------	--

Підвіска автомобіля складається з трьох основних елементів:

- пружний елемент – забезпечує пружні властивості підвіски.
- напрямний пристрій – забезпечує правильний рух коліс.
- гасильний елемент – гасить коливання підвіски.

Пружними елементами в підвісках можуть бути металеві листові ресори, циліндричні пружини, торсіони (стрижні, що працюють на скручування), а також неметалеві елементи, такі як гума, стиснене повітря або рідина. Іноді в підвісках застосовуються комбіновані пружні елементи, які складаються з металевих і неметалевих компонентів. Підвіска автомобіля відіграє важливу роль у забезпеченні комфорту та безпеки руху, а також довговічності машини та її компонентів.

Пружини та ресори є пружними елементами машин та механізмів. Тому під час експлуатації вони витримують численні змінні навантаження, після зняття яких повинні повністю відновити свої початкові розміри. Отже, матеріал, який використовується для виготовлення пружин та ресор, повинен мати, крім необхідної міцності $\sigma_v > 1000$ МПа при навантаженні, достатньо добру пластичність $\delta > 5\%$ і $\psi > 20\%$ та мати високу границю плинності $\sigma_{0,2} > 800$ МПа. Крім того, пружини повинні мати високу релаксаційну стійкість, а при роботі в агресивних середовищах (пара, морська вода, різні розчини) бути стійкими до корозії.

Пружини використовуються в широкому діапазоні застосувань, включаючи статичні навантаження (постійно стиснуті пружини), динамічні навантаження (буферні пружини) та багаторазові динамічні навантаження з високою частотою циклів (пружини клапанів двигунів).

Ключовою робочою характеристикою пружин є їх жорсткість, яка визначається як здатність пружини деформуватися на певну величину при прикладанні заданого навантаження.

Величина та стабільність робочих характеристик, а також відсутність поломок і змін розмірів (просідання, розтягування) є показниками якості пружин. Якість пружин оцінюється за такими критеріями:

- величина і стабільність робочих характеристик;
- відсутність поломок і змін розмірів;
- стійкість до корозії та інших агресивних впливів;
- термін служби.

Пружини піддаються багаторазовим циклічним навантаженням, і після зняття навантаження повинні повністю відновлювати свої початкові розміри. Тому матеріал пружин повинен мати не тільки необхідну міцність при статичних, динамічних або циклічних навантаженнях, але й достатню пластичність, високу межу пружності і витривалості, а також високу релаксаційну стійкість. У разі роботи в агресивних середовищах (вологій атмосфері, морській воді тощо) матеріал також повинен бути корозійностійким.

Для металу пружин важливими є також технологічні властивості, такі як: схильність до росту зерна і знеуглецювання під час термічної обробки, глибока прогартуваність, низька критична швидкість гартування, мала чутливість до відпускнуї крихкості.

На якість пружин впливає стан поверхні деталі. Наявність зовнішніх дефектів (тріщин, волосин, раковин тощо), а також знеуглецьованого шару знижує пружні і циклічні властивості металу. Тому зовнішні дефекти на поверхні виробів слід видаляти зачисткою або шліфуванням, а глибина знеуглецьованого шару не повинна перевищувати норми, встановленої ДСТУ на ресорно-пружинну сталь.

Листові ресори в основному використовуються як пружні елементи амортизаційних пристроїв екіпажів (автомобілів, залізничного рухомого складу тощо), а також у конструкціях деяких типів ковальського обладнання та лоткових живильників. Ресори допускають велику величину еластичної деформації (до 300 мм). Поряд з вертикальними, вони здатні сприймати і

горизонтальні сили. Наявність тертя між листами сприяє швидкому згасанню коливань. Ресори прості в виготовленні та надійні в роботі. Ресора представляє собою працюючу на згин балку рівного опору, зібрану зі сталевих полос різної довжини (рис. 1.1).

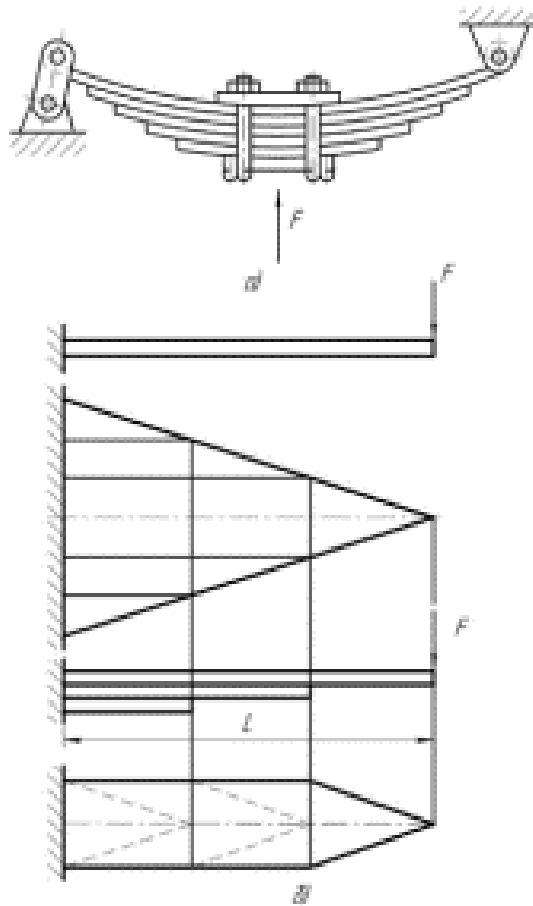


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення листової ресори та схема розрахунку

Найпоширенішими причинами відмов пружних елементів є:

- втома металу внаслідок змінних навантажень.
- пошкодження поверхні пружини (тертя, каміння).
- корозія металу (підвищена вологість, вплив дорожньої солі).

Втомне руйнування спостерігається майже завжди при неоднорідному напруженому стані, при вигині або при розтягуванні виробу, що має концентратор напруги. У тому місці, де напруга є найбільшою, зазвичай на

поверхні, виникає тріщина, яка поступово поширюється вглиб. Незважаючи на наявність тріщини, виріб ще не втрачає несучої здатності і може витримати кілька тисяч і навіть мільйонів циклів.

Коли тріщини досягають достатньої глибини і напруження в незруйнованій частині перетину, яка сприймає все навантаження, виявляється настільки великим, що матеріал не може їх витримати, відбувається раптовий злам.

Втома металу є наслідком багаторазового прикладання змінних навантажень, які не перевищують межі міцності матеріалу. Проте, під впливом цих навантажень відбувається поступове накопичення пошкоджень у структурі металу, що призводить до утворення тріщин та руйнування.

Пошкодження поверхні пружини може бути наслідком тертя, кам'янистої дороги або повним стисненням пружини. Ці пошкодження можуть призвести до виникнення концентраторів напружень, які сприяють утворенню тріщин та поломок.

Корозія металу є наслідком впливу вологи та дорожньої солі. Корозія призводить до руйнування захисного шару оксиду на поверхні металу, що робить його більш схильним до дії корозійних середовищ та утворення тріщин.

Для запобігання відмовам пружних елементів важливо дотримуватися рекомендацій виробника щодо експлуатації та обслуговування, а також проводити регулярні огляди та діагностику.

При правильному виборі типу та розміру пружин і ресор на їх довговічність та надійність впливають наступні фактори:

- хімічний склад і структура сталі після термічної обробки, а також його зміна в процесі роботи;
- металургійна якість сталі (кількість неметалевих включень, неоднорідність складу та структури);
- якість поверхні прокату (лист, стрічка, стрічка, дріт). Наявність дефектів поверхні в готових пружинах і ресорах;

- наявність і глибина знеуглецюваного шару;
- величина та розподіл внутрішніх залишкових напружень.

Оптимальні властивості (максимальні межі пружності і витривалості) пружин і ресор досягаються при структурі троститу (твердості HRC 40-45), яка утворюється після гартування (з рівномірним і повним мартенситним перетворенням по всьому перетину виробу) і середньотемпературного відпускання при 400-500°C, залежно від марки сталі.

Особливістю роботи ресорно-пружинних сталей є те, що при значних ударних або статичних навантаженнях в них не допускається залишкова деформація. У зв'язку з цим сталі повинні мати високий опір малим пластичним деформаціям, який оцінюється межею пружності і плинності) і опором крихкому руйнуванню.

Основними вимогами до ресорно-пружинних сталей є твердість на рівні HRC 45,5...49,5.

2 НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ ТА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1 Номенклатура виробів з пружинно-ресорних сталей

Пружини та ресори є пружними компонентами різноманітних машин, механізмів та приладів, призначеними для генерації, поглинання або демпфування ударів, вібрацій, поштовхів, а також для приводу рухомих частин або вимірювання сил. Широкий спектр типів пружин, що використовуються в сучасних технологіях, відображає їх різноманітність.

За характером дії розрізняють пружини, які працюють на стиснення, розтягування, скручування та спеціальні, що витримують комбіновані навантаження, в основному згинання.

За формою пружини поділяються на гвинтові, спіральні, тарілчасті тощо.

Типи виробів, виготовлених з пружинно-ресорних сталей, є надзвичайно різноманітними та охоплюють широкий спектр застосувань у різних галузях промисловості. Найбільш поширені вироби включають:

- автомобільні ресори та підвісні системи: одним з основних застосувань є виробництво ресор для автомобілів та іншого транспорту. Ці ресори грають критичну роль у підвісній системі, забезпечуючи амортизацію та підвищену стійкість транспортного засобу;

- пружини для різного обладнання: пружини, виготовлені з пружинно-ресорних сталей, використовуються в широкому діапазоні обладнання, від побутових приладів до промислових машин. Ці пружини можуть бути дуже різних форм та розмірів, від мікропружин у годинниках до великих пружин у промисловому обладнанні;

- компоненти для залізничного транспорту: в залізничному транспорті пружинно-ресорні сталі використовуються для виробництва елементів підвіски вагонів, забезпечуючи безпеку та комфорт під час руху поїздів;

- вироби для аерокосмічної промисловості: у аерокосмічній галузі такі сталі використовуються для виробництва різноманітних компонентів, від маленьких пружин до більш складних деталей, які вимагають високої міцності та здатності витримувати екстремальні умови;

- медичне обладнання та інструменти: у медичній галузі ці сталі застосовуються для виготовлення хірургічних інструментів, ортопедичних імплантатів, та інших спеціалізованих медичних пристроїв;

- спеціалізовані промислові компоненти: пружинно-ресорні сталі також використовуються для виготовлення спеціалізованих компонентів, таких як клапани, шестерні, і різноманітні кріпильні елементи, які вимагають високої міцності та довговічності.

Автомобільні ресори можна класифікувати на декілька основних типів, кожен з яких має свої характеристики та області застосування:

- листові ресори: це традиційний тип ресор, який складається з декількох металевих пластин (листів), розташованих одна над іншою. Листові ресори відрізняються високою міцністю та здатністю витримувати великі навантаження, завдяки чому вони часто використовуються у вантажних автомобілях та автобусах;

- торсійні ресори: цей тип ресор працює на принципі скручування. Вони складаються з металевого стрижня, який скручується під час роботи підвіски. Торсійні ресори часто зустрічаються у невеликих легкових автомобілях та спортивних машинах, де є обмеження за масою та простором;

- пневматичні ресори (повітряні подушки): вони використовують стиснене повітря для амортизації та підтримки автомобіля. Пневматичні ресори забезпечують високий рівень комфорту та можливість регулювання висоти підвіски, що робить їх популярними в преміум-класі автомобілів та вантажних авто;

- гідропневматичні ресори: це більш складна система, що комбінує гідравлічні елементи та газову подушку. Вони забезпечують високу амортизаційну здатність та можливість адаптації до різних дорожніх умов. Часто зустрічаються в автомобілях вищого класу.

Листові ресори застосовують в підвісці більшості вантажних автомобілів та деяких легкових. Класичним варіантом є багат шарова листова ресора, яка складається з кількох металевих листів різної довжини, скріплених разом. Така конструкція дозволяє ресорі витримувати значні навантаження, одночасно забезпечуючи достатню гнучкість. Вони часто використовуються в важких вантажівках та автобусах, де потрібна висока вантажопідйомність та надійність. Одношарові ресори виготовляються з одного товстого металевого листа і частіше зустрічаються в легкових автомобілях. Хоча вони менш міцні у порівнянні з багат шаровими, одношарові ресори забезпечують вищу комфортність та плавність ходу.

З впровадженням нових технологій з'явилися параболічні ресори, які відрізняються від традиційних багат шарових конструкцій тим, що листи в них стають тоншими від центру до кінців, утворюючи параболічну форму. Це дозволяє рівномірно розподіляти навантаження по всій довжині ресори, покращуючи характеристики ходової частини та знижуючи загальну вагу. Параболічні ресори часто використовуються в сучасних вантажівках та позашляховиках, де поєднання вантажопідйомності, ефективності та комфорту є ключовим. Враховуючи високу ефективність і знижену вагу, ці ресори є чудовим вибором для сучасних транспортних засобів, де економія палива та зменшення викидів є важливими критеріями.

Кожен тип ресор має свої переваги та особливості, і вибір конкретного типу залежить від вимог до автомобіля, його ваги, призначення та умов експлуатації.

2.2 Маршрутна технологія виготовлення ресор

Технологія виготовлення ресор передбачає кілька послідовних етапів, які починаються з вхідного контролю вихідного матеріалу і завершуються фарбуванням готових виробів. Кожен етап має своє важливе значення у формуванні якості, міцності та експлуатаційних властивостей ресор. Такі процеси, як термічна обробка, загартування, зміцнення та випробування, відіграють ключову роль у забезпеченні довговічності та надійності ресор. Фарбування на завершальному етапі не лише покращує зовнішній вигляд, але й забезпечує захист від корозії. Ці процеси вимагають високого рівня точності та контролю на кожному етапі, що підкреслює важливість спеціалізованого обладнання та кваліфікованих фахівців у виробництві ресор.

Розглянемо маршрутну технологію для ресорно-пружинних сталей на прикладі ресори зі сталі 50ХФА (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Маршрутна технологія виготовлення ресор

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1.	Вхідне контролювання вихідного матеріалу	Заготівельний цех	Контроль якості, хімічного складу, відсутності дефектів
2.	Розрізання заготовок за розміром	Заготівельний цех	Отримання заготовок необхідної форми і розміру
3.	Попередня термічна обробка	Термічний цех	Відпустка для зниження внутрішніх напружень і

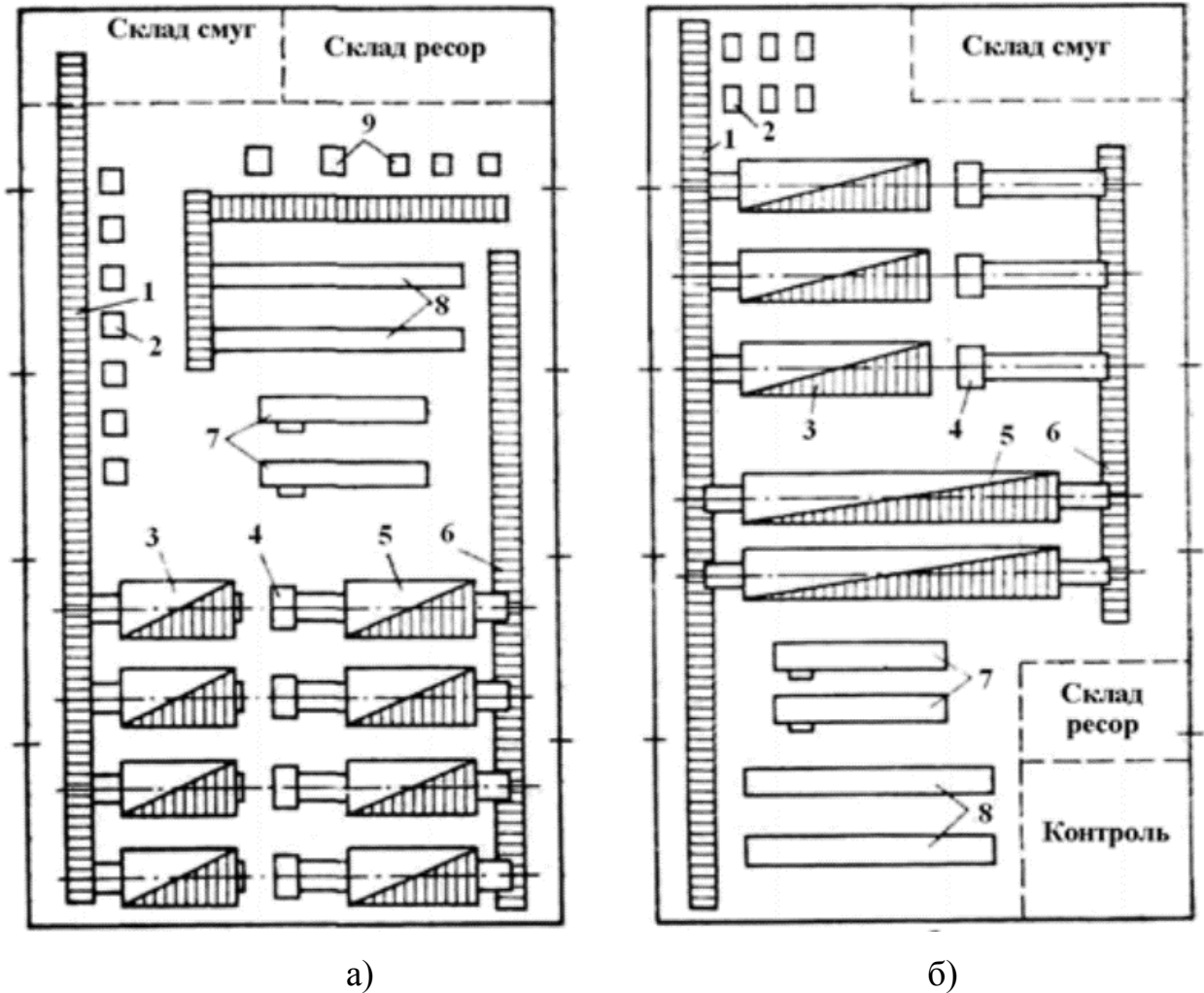
			підвищення пружності
--	--	--	----------------------

Кінець таблиці 2.1.

4.	Формування ресор	Ковальський цех	Згинання заготовок для отримання необхідної геометрії ресори
5.	Загартування	Термічний цех	Зміцнення металу, запобігання деформацій
6.	Основна термічна обробка	Термічний цех	Відпустка після загартування для зниження напружень
7.	Механічна обробка	Механічний цех	Обробка торців пружин, зачищення заусенців
8.	Зміцнення та випробування	Контрольно-випробувальний цех	Наклепування, перевірка на залишкові деформації і прогини
9.	Фарбування	Фарбувальний цех	Нанесення захисних покриттів для корозійного захисту

На рисунку 2.1 представлені типові схеми розташування обладнання. В першому варіанті (рис. 2.1, а) вихідні смуги матеріалу надходять зі складу, а після різання на відповідний розмір на верстатах 2, вони транспортуються пластинчастим конвеєром 1 до конвеєрних гартівних печей 3. Після проходження процесу охолодження після гартування в барабанних згиногартівних машинах 4 та відпуску у конвеєрних печах 5, ресорні листи потрапляють на конвеєр 6, який доставляє їх до дробоструминних пристроїв 7, а потім на складальні конвеєри 8. Зібрані ресори проходять обов'язковий контроль на столах 9 перед відправкою на склад. В другому варіанті (рис. 2.1,

б) зберігається та сама послідовність проходження обробки матеріалу, але конвеєрні гартівні печі розташовані паралельно одна одній. Переміщення матеріалу між ними відбувається за допомогою проміжних конвеєрів 6.



а – перший варіант розташування обладнання, б – другий варіант розташування обладнання

Рисунок 2.1 – Поточкові лінії для термічної обробки ресорних листів (схема)

У цій технології для згинання і термічної обробки ресорних листів, які мають переріз 90x18 мм, використовується нагрівання СВЧ. Високоміцний стан листів досягається завдяки сильному подрібненню зерна та створенню значного стискувального напруження в поверхневих шарах за допомогою поверхневого гартування. Згинання ресорних листів, що рухаються на

ребрах, виконується за допомогою обертових вертикальних роликів, які розташовані парами з обох боків листа. Задні ролики є привідними, які переміщують ресорні листи вздовж всієї лінії, а передні ролики притискають листи до задніх роликів за допомогою пружин.

Автоматична лінія (рис. 2.2) складається зі станції завантаження, ділянки витискування центральної бобишки з місцевим нагріванням за допомогою струмів високої частоти, виконаного індуктором потужністю 30 кВт, ділянки згинання і термічної обробки, а також столу для вивантаження. Ділянка згинання і термічної обробки оснащена трьома групами індукторів з потужністю відповідно 240, 210 і 100 кВт і частотою 2500 Гц. Індуктори з потужністю 240 кВт використовуються для нагрівання перед згинанням і підготовки структури для подальшого гартування, індуктори з потужністю 210 кВт застосовуються для поверхневого гартування, а індуктори з потужністю 100 кВт використовуються для електровідпуску.

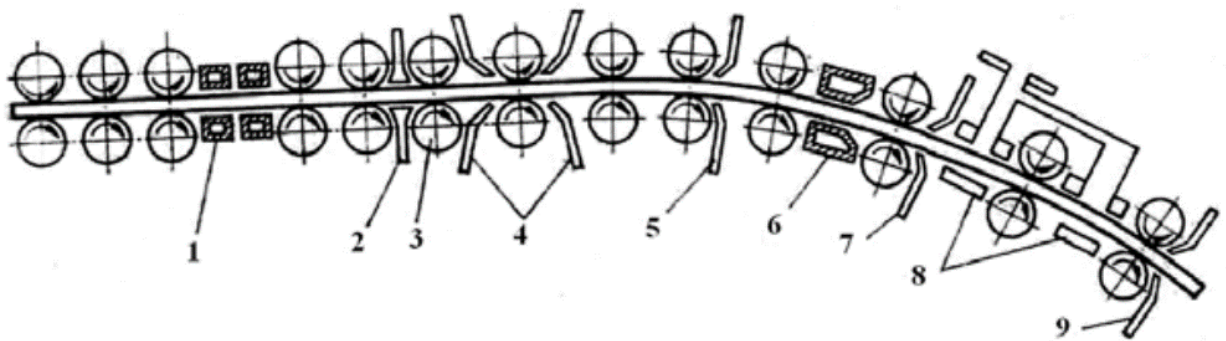


Рисунок 2.2 – Автоматична лінія для обробки ресорних листів із застосуванням нагрівання НВЧ

Процес згинання ресори відбувається по радіусу і розпочинається з використанням роликів 3, перед якими розташовані вставки 2. Ці вставки служать опорою для початкового прямого відрізка ресорного листа, який згинається. Між робочою поверхнею вставки та ресорним листом існує зазор розміром 0,3-0,5 мм, що призводить до того, що основна частина листа не

контактує з вставкою. Кінцева ділянка ресорного листа завдовжки 200 мм також піддається згинанню за допомогою вставки.

Процес згинання починається зі нагрівання листа в індукторі 1 до температури 950-1000°C, після чого він охолоджується за допомогою спреєрів 4. Це забезпечує гартування з одночасним самовідпуском до температури 250-280°C та утворення в поверхневому шарі структури відпущеного мартенситу. Перед поверхневим гартуванням застосовується додаткове охолодження спреєрами 5, при якому мартенсит формується і в серцевині листа.

Послідовне поверхнєве гартування листа проводиться в одновитковому індукторі-спреєрі 6. Нагрівання досягає температури поверхні листа 820°C зі швидкістю 300°C/с, що забезпечує утворення дрібнодисперсного мартенситу в поверхневому шарі на глибину 3-4 мм. Одночасно серцевина листа піддається відпуску при короткочасному нагріванні до 650-700°C, результатом чого є отримання трооститу відпуску і твердість на рівні HRC 38-40.

Після охолодження у спреєрі 7 індуктора 8, що складається з двох секцій, забезпечуючи рівномірну температуру по ширині листа (в межах 20°C), проводиться електровідпуск. Завершальним етапом є охолодження ресорних листів водяним душем 9, після чого вони направляються роликami на стіл вивантаження та комплектуються в спеціальну тару.

Продуктивність даної установки складає близько 800 кг/год при швидкості переміщення листів приблизно 18 мм/с. Габаритні розміри установки в плані (включаючи елементи управління) становлять 12x4,4 м, висота – 5,5 м, а маса – 30 тонн.

Ресори та пружини повинні відповідати вимогам щодо границі пружності, яка повинна складати не менше 800 МПа для вуглецевих сталей та 1000 МПа для легованих сталей, при умові досягнення пластичності на рівні $\delta \geq 5\%$. Крім того, важливо, щоб пружини мали високу релаксаційну стійкість.

Листи для ресор піддаються гартуванню при температурі 840-870°C в олії та відпускаються при температурі 400-460°C, в залежності від марки сталі. Процес охолодження ресорних листів після гартування виконується у спеціальних пристроях, що значно полегшує процес збирання ресор. Важливо зазначити, що після відпуску загартованої сталі її границя пружності спочатку зростає, а потім зменшується, і максимальне значення відповідає температурі відпуску у діапазоні 400-450°C. Для сталей, які схильні до відпускнуї крихкості, охолодження після відпуску виконують у воді. З метою підвищення границі витривалості та релаксаційної стійкості, ресори та пружини піддаються дробоструминному наклепу.

2.3 Вплив якості поверхні на властивості ресор

Якість поверхні ресор є критичним фактором, який істотно впливає на їх експлуатаційні властивості. Втомна міцність ресор, яка визначає їх здатність витримувати повторювані навантаження без руйнування, значною мірою залежить від стану поверхні. Низька шорсткість і однорідність поверхні можуть істотно знизити ризик формування мікротріщин, які служать центрами концентрації напружень та можуть призводити до передчасної втоми матеріалу. Отже, додаткова обробка поверхні може значно продовжити термін служби ресори, особливо в умовах високих або циклічних навантажень, характерних для важковантажного транспорту.

Корозійна стійкість ресор також тісно пов'язана з якістю їх поверхні. Це пов'язано з тим, що нерівності, подряпини чи інші дефекти на поверхні створюють умови для локалізованої корозії, яка може швидко поширюватися, підриваючи структурну цілісність виробу. В цьому випадку застосування різноманітних методів захисту поверхні, таких як гальванізація або антикорозійне фарбування, можуть значно підвищити стійкість ресор до

впливу корозії , особливо в умовах вологості, солевих туманів або агресивних дорожніх умов. Це важливо для забезпечення довготривалої експлуатації ресор, особливо в транспортних засобах, що використовуються в суворих або змінних кліматичних умовах.

Крім того, гладка поверхня знижує внутрішнє тертя між окремими листами ресори, що є важливим для запобігання їх зношуванню та забезпечення плавності роботи підвіски. Висока якість поверхні сприяє ефективному розподілу навантажень і знижує імовірність появи тріщин і вибоїн, які можуть прискорити зношування матеріалу.

Отже, якість поверхні ресор не тільки впливає на їх властивості та довговічність, але й має значний вплив на виробничий процес. Висока точність обробки полегшує монтаж та складання ресор, знижує витрати на виробництво та підвищує загальну якість кінцевого продукту. Це важливо для виробників, які прагнуть забезпечити високу надійність та ефективність своєї продукції, а також для споживачів, які очікують високого рівня довговічності та безпеки від своїх транспортних засобів.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

3.1 Загальна характеристика матеріалів, що застосовують для виготовлення пружних елементів

Сталі для пружин та ресор представляють собою особливу групу конструкційних сталей, що характеризуються високим опором малим пластичним деформаціям. Ця властивість визначається умовною границею пружності, яка відповідає появі залишкової деформації 10^{-3} - 10^{-4} %. Границя пружності визначає максимальні напруження, які можуть виникати в пружних елементах під час експлуатації без виникнення залишкових деформацій.

До матеріалів пружин та ресор також висуваються такі вимоги:

- висока релаксаційна стійкість;
- наявність певної мінімальної в'язкості та міцності;
- висока границя втоми;
- технологічна пластичність при гарячій та холодній пластичній деформації.

За призначенням ресорно-пружинні сталі поділяються на: сталі загального призначення, що використовуються для виготовлення конструкційних елементів, які працюють у звичайних атмосферних умовах; сталі спеціального призначення, що застосовуються для виготовлення пружних елементів, які працюють в особливих умовах (корозійно- і жаростійкі).

Матеріали пружин та ресор повинні мати високі пружні властивості, достатню міцність та стійкість до втомного руйнування. При роботі в умовах підвищеної температури матеріал пружин повинен бути термостійким; при роботі в агресивному середовищі – корозійностійким.

Пружинні сталі і сплави можна також класифікувати за основними способами зміцнення. Сталі та сплави, що зміцнюються холодною пластичною деформацією і подальшим низькотемпературним нагріванням (відпуском або відпалом). До цієї групи належать сталі з підвищеним вмістом вуглецю (0,4-1,0 %), що піддаються зміцненню холодною пластичною деформацією (після попередньої термічної обробки), а після наклепу - низькому відпуску. При цьому певний, а в низці випадків вельми істотний внесок у загальне зміцнення вносить попередня термічна обробка. Залежно від структури, отриманої під час термічної обробки, змінюється й абсолютний ступінь зміцнення в процесі холодної пластичної деформації.

У процесі наклепу фазовий стан сталі практично не змінюється, а лише змінюється тонка структура завдяки збільшенню густини дислокацій. Внаслідок додаткового відпуску (старіння) знімаються залишкові напруження, перерозподіляються дислокації, на них утворюються сегрегації, що і спричиняє сильне підвищення межі пружності, релаксаційної стійкості та інших властивостей сталі.

Крім вуглецевих і легованих сталей перлітного класу, до цієї ж групи можна віднести сталі аустенітного класу, які не зазнають у процесі холодної пластичної деформації фазових перетворень типу $\gamma \rightarrow \alpha$ або $\gamma \rightarrow \epsilon$. При подальшому відпусканні в них протікають, по суті, ті ж структурні процеси, що й у сталі перлітного класу, з тією лише різницею, що під час відпускання можуть утворитися сегрегації інших типів і дислокаційна структура може бути іншою.

Крім сталей, до цієї ж групи належать і сплави на основі міді (однофазні латуні та бронзи), молібдену, ренію, ніобію тощо. В них унаслідок холодної пластичної деформації не тільки підвищується густина дислокацій, які розташовуються за комірчастою субструктурою або плоскими скупченнями, а й порушується початковий розподіл атомів. Під час подальшого дорекристалізаційного відпалу знімаються залишкові

напруження, перерозподіляються дислокації за типом полігонізації, відбуваються зміни в розподілі атомів компонентів.

Характерною особливістю всіх сплавів розглянутого класу є анізотропія пружних властивостей, різко виражена в деформованому стані, яка зменшується після відпускання (або під час дорекристалізаційного нагріву) в результаті перерозподілу напружень і дислокацій.

Сталі та сплави, що зміцнюються в результаті мартенситного перетворення. До цього класу відносяться вуглецеві і леговані сталі (зокрема і мартенситно-старіючі), що зміцнюються в результаті мартенситного перетворення під час гартування, а також неіржавіючі сталі перехідного аустенітно-мартенситного класу, які зазнають мартенситне перетворення або під час гартування, або під час обробки холодом, або під час деформаційного наклепу. У результаті мартенситного перетворення в сталях, що містять вуглець, в решітці виникають значні поля напружень у впроваджених атомів вуглецю, відбувається подрібнення кристалів, різко збільшується густина дислокацій, що змінює субструктуру, утворюються сегрегації з атомів вуглецю на дислокаціях, а можливо і виділяються надлишкові фази. Гартування мартенситно-старіючих сталей збільшує концентрацію легуючих елементів у твердому розчині і сильно підвищує густину дислокацій. Якщо ж мартенситне перетворення відбувається в процесі деформаційного наклепу аустеніту, то при загальному збільшенні густини дислокацій відбувається їх нерівномірний розподіл. Наслідком цього є анізотропія міцнісних і пластичних властивостей, але особливо границі пружності. Сталі з мартенситною структурою набувають максимального опору малим пластичним деформаціям після відпускання, в процесі якого відбувається розпад залишкового аустеніту, знімаються залишкові напруження, перерозподіляються дислокації (можливо, за типом полігонізації), атоми вуглецю переміщуються до дислокацій, а також виділяються частки карбідів та інших надлишкових фаз. Під час старіння (відпускання) мартенситно-старіючих, а також сталей перехідного класу відбувається перетворення

дислокаційної структури за типом полігонізації та утворюються сегрегації і частинки (або області) надлишкових фаз. До цієї ж групи належать сплави системи Co-Cr-Ni-Fe-Mo, в яких у процесі деформації аустеніт перетворюється на ϵ -мартенсит у вигляді дисперсних часток, що поряд зі зростанням густини дислокацій та утворенням частинок карбідів і інтерметалідів визначає сильне зміцнення сплавів. У процесі подальшого старіння (відпускання) зростає кількість ϵ -мартенситу і з нього виділяються частинки надлишкових карбідних та інших фаз.

Сталі та сплави, що зміцнюються в результаті дисперсійного твердіння (старіння). До цієї групи належать сплави на основі систем Fe-Ni, Fe-Ni-Cr, Ni-Cr тощо з добавками головним чином титану, ніобію та алюмінію, які створюють зміцнювальні фази, що розчиняються за температури загартування і виділяються в дисперсній формі під час подальшого старіння (або відпускання).

До цієї групи також належить і один з основних пружинних сплавів - берилієва бронза, дисперсійно-твердіючі латуні, а також деякі сплави на основі дорогоцінних металів: платина-срібло, паладій-срібло та ін.

Зростання опору малим пластичним деформаціям у цих сплавів пов'язане зі зміною тонкої структури матриці та з блокуючою дією частинок (областей) надлишкової фази. Додаткове підвищення міцнісних властивостей цих сплавів, що супроводжується, однак, зниженням властивостей пластичності, може бути досягнуто в результаті пластичної деформації цих сплавів після загартування і застосування заключного відпуску (старіння).

3.2 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості ресорно-пружинних сталей

Основним легувальним елементом у ресорно-пружинних сталях є кремній, який підвищує прогартовуваність, затримує розпад мартенситу при відпуску та зміцнює ферит. Кремністі сталі (50C2, 55C2 та 60C2) мають високі межі плинності та пружності, що забезпечує високий комплекс властивостей. Однак кремністі сталі схильні до знеуглецювання, утворення поверхневих дефектів при гарячій обробці та графітоутворення, що знижує межу витривалості.

Для поліпшення властивостей кремністих сталей їх додатково легують іншими елементами, такими як хром, марганець, вольфрам, нікель, бор, титан, ванадій та цирконій. Ці елементи забезпечують необхідну загартованість та прогартовуваність, підвищують релаксаційну стійкість сталей та межу пружності.

Легування кремністої сталі хромом (0,5 - 1%) або хромом та ванадієм (сталі 60C2X0.5, 60C2X або 60C2XФА) більш ніж в 2 рази збільшує прогартовуваність і майже в 2 рази зменшує глибину знеуглецьованого шару. Легування одним ванадієм або цирконієм мало впливає на технологічні характеристики сталі, проте вони подрібнюють зерно і гальмують його зростання при нагріванні до 1000 - 1100 °C. Дещо слабше в цьому відношенні впливає легування хромом.

Легування сильними карбідоутворюючими елементами дозволяє також підвищити властивості міцності при підвищених температурах відпуску внаслідок сповільнення процесу знеміцнення.

Сталі 60C2XФА і 65C2ВА, що мають високу прогартовуваність, міцність та релаксаційну стійкість, застосовують для виготовлення великих високонавантажених пружин та ресор. Коли пружні елементи працюють в умовах сильних динамічних навантажень, застосовують сталь з нікелем 60C2H2A.

Для виготовлення автомобільних ресор широко застосовують сталь 60XГА, що за технологічними властивостями перевершує кремністі сталі. Для клапанних пружин рекомендується сталь 60XФА, що не схильна до

перегріву та знеуглецювання. Однак ця сталь має малу прогартовуваність і може застосовуватися тільки для пружин з перерізом дроту, рівним або менше 5 - 6 мм. Для збільшення прогартовуваності сталь легують марганцем (50ХГФА), який знижує ударну в'язкість.

3.3 Характеристика сталі 50ХФА

Сталь 50ХФА являється легованою хромом і ванадієм (табл. 3.1) високоякісною сталлю, яка відноситься до категорії пружинних сталей (зміцнювана мартенситним перетворенням). Її хімічний склад і механічні властивості роблять її підходящою для використання в деталях, що вимагають високої міцності, жаростійкості та ударної в'язкості при циклічних навантаженнях.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 50ХФА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
0.46 - 0.54	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.25	до 0.025	до 0.025	0.8 - 1.1	0.1 - 0.2	до 0.2

Хромованадієві пружинні сталі характеризується меншою чутливістю до перегріву, ніж хромомарганцева, що внаслідок ще металургійної дії ванадію призводить до отримання дрібнозернистої будови. Крім того, хромованадієва сталь вирізняється підвищеною стійкістю проти відпусканію. Цей ефект пояснюється стабілізацією її субструктури і сегрегацій вуглецю (і азоту) на дислокаціях, а також зниженням швидкості коагуляції частинок карбідної фази. У разі гартування від більш високих температур, ніж це зазвичай прийнято для сталей без ванадію, при подальшому відпусканні за 400-500 °С головним чином по вузлах сітки дислокацій виділяються карбіди ванадію, які розчинилися під час нагрівання під гартування. Це виділення карбідів ванадію може сповільнити знеміцнення під час відпускання, поки не

відбудеться помітна їх коагуляція (вище 500 °С). Металургійний вплив ванадію на зв'язування азоту і подрібнення зерна, а також мала чутливість до зростання аустенітного зерна і рівномірний розподіл карбідів у структурі відпущеної сталі забезпечують підвищену ударну в'язкість.

Таким чином, для пружинних сталей, що містять ванадій, зокрема для сталей 50ХФА і 50ХФГА, характерними є теплостійкість, підвищена ударна в'язкість і опір руйнуванню.

Зіставлення властивостей сталі 50Х і 50ХФА дає змогу виявити ефект від введення ванадію в сталі після термічної обробки (рис. 3.1). Це зіставлення показує, що ванадій підвищує опір і великим, і малим пластичним деформаціям. Максимальне значення границі пружності $\sigma_{0,005}$ досягається після відпускання при 350 °С, коли у структурі сталі 50ХФА вже немає залишкового аустеніту і виділилася майже максимальна кількість карбідів. Його величина приблизно на 150-200 МПа вища, ніж у хромистої сталі без ванадію (50Х). Для сталі 50ХФА також характерне менше, ніж у сталі 50Х, зниження границь міцності і текучості при підвищенні температури відпускання від 200 до 450 °С, а границі пружності - від температури відпускання, що відповідає її максимуму (350 °С), до 450 °С. Ці дані свідчать про більшу стабільність структури, що формується в сталі 50ХФА, внаслідок гартування і відпускання. Саме з цієї причини проявляється і більша релаксаційна стійкість сталі 50ХФА за однакових вихідних напружень і підвищена її втомна міцність ($\sigma_{-1} = 590$ МПа) порівняно зі сталлю без ванадію ($\sigma_{-1} = 550$ МПа).

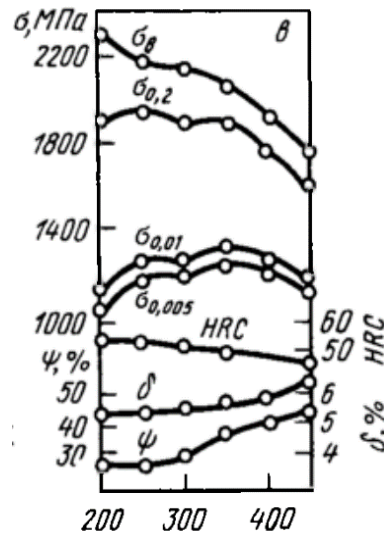


Рисунок 3.1 - Вплив температури відпускання на властивості сталі 50ХФА

Відпуск сталі 50ХФА при більш високій температурі, ніж сталі 50ХГ, дає змогу додатково знизити залишкові напруження. Це забезпечує поєднання в сталі 50ХФА після термічної обробки підвищених значень границі пружності та ударної в'язкості.

Хромованадієва сталь характеризується меншою схильністю до знеуглецювання порівняно з кремнистою або кремнемарганцевою сталлю. Так, сталь, близька за складом до сталі 50ХФА (сталь 5160 за SAE), після нагріву за 870 °C протягом 1 год має знеуглецьований шар глибиною 0,075 мм, а після витримки протягом 6 год за тієї самої температури - 0,150 мм; у кремнехромомарганцевої сталі типу 9262 AISI (0,55-0,65 % C; 0,75-1,0 % Mn; 1,8-2,2 % Si; 0,2-0,4 % Cr) за тих самих умов нагріву отримують знеуглецьований шар глибиною 0,250 і 0,560 мм відповідно.

Властивості сталі марки 50ХФА (за ГОСТ 14959-79) після гартування від 850 °C у маслі та відпуску за 470 °C: ($\sigma_B > 1275$ МПа; ($\sigma_{0,2} > 1079$ МПа; $\delta > 8$ %; $\psi > 35$ %). Однак залежно від умов служби пружин необхідні для пружин властивості можуть змінюватися в досить широких межах, і тому відповідно варіюють і режим відпуску. Однак не рекомендується проводити відпускання нижче 350 °C, хоча максимальна релаксаційна стійкість пружин зі сталі 50ХФА за 20 °C досягається, за даними А. Л. Селяво, після відпускання за

300 °С, оскільки в цьому разі пружини стають чутливими до концентраторів напружень і руйнування відбувається крихко навіть під час статичного навантаження.

Для отримання максимальних значень границі пружності відпускання пружин має бути короткочасним, що зручно здійснити в соляних ваннах. Максимальна границя пружності сталі 50ХФА після гартування і відпускання при 300 °С досягається під час витримки протягом 10 хв. За такої короткочасної витримки знімаються напруження, отримані після гартування, і водночас не відбувається огрубіння субструктури. Однак у цьому разі сталь виявляється більш схильною до крихкого руйнування.

Найвищі значення границі пружності хромованадієвої сталі типу 50ХФА можна отримати в результаті ізотермічного гартування з подальшим відпусканням. При цьому чим нижча температура ізотермічного перетворення в бейнітній ділянці, тим вищі значення границі пружності, що досягаються.

Механічні властивості сталі 50ХФА після ізотермічного гартування з витримкою 1 год за 330 °С і додаткового відпускання за тієї самої температури, а також після звичайного гартування і відпускання на практично рівну міцність з ізотермічним гартуванням наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Властивості сталі 50ХФА після ізотермічного гартування, додаткового відпускання та після звичайного гартування і відпускання

Термічна обробка	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{пл}$, МПа	δ , %	Ψ , %	a_n , кДж/м ²	σ_{-1} , МПа
Ізотермічне гартування з витримкою 1 г при 330 °С	1550	1430	1310	7,9	49	490	-
Те саме і відпуск при 330 °С	1570	1430	1310	6,3	54	568	665

Гартування в олії та відпуск при 475 °С	1700	1520	1240	6,5	55	340	715
---	------	------	------	-----	----	-----	-----

Наведені вище дані показують, що ізотермічне гартування сталі 50ХФА з додатковим відпусканням забезпечує високі значення границі пружності та більшу в'язкість, ніж звичайне гартування і відпускання. Однак будь-яких переваг щодо втомної міцності зразків в умовах випробувань на повторний вигин (табл. 3.1) така обробка не дає. Отже, ізотермічне гартування пружин зі сталі 50ХФА становить певний інтерес головним чином як операція, що дає змогу зменшити деформацію та підвищити границю пружності.

Максимальна границя пружності на вигин сталі 50ХФА, що в 1,5-2 рази перевершує значення, одержувані після подвійної термічної обробки, досягається в результаті азотування. При цьому, за даними О.П. Кот, зростає коефіцієнт зміцнення в області мікродеформації, в 1,5-2 рази знижується величина пружного гістерезису і поліпшується циклічна міцність пружних елементів.

Стійкість до відпускання визначає широке застосування хромованадієвої сталі для виготовлення пружин, що працюють за підвищених температур. За даними, опублікованими в США, релаксація напружень пружин зі сталі типу 50ХФА (6150 SAE) за 200 °С протягом 7 діб $\sigma = 617$ МПа досягає 6 %. Режим гартування і відпуску для пружин, що працюють під час нагрівання, відрізняється від режиму відпуску пружин, призначених для експлуатації в умовах нормальних температур. Оптимальним для роботи пружин під час нагрівання слід визнати відпуск за 450-500 °С. Гранична температура тривалої служби пружин зі сталі 50ХФА не перевищує 200 °С.

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Вплив параметрів термічної обробки на витривалість ресор

Гартування сталі - це процес термообробки, що полягає в нагріванні сталі до температури вище критичної з наступним швидким охолодженням. Основною метою цієї процедури є збільшення міцності та твердості сталі, при цьому знижуючи її пластичність. Внаслідок гартування сталь стає більш крихкою та твердою. Під час нагрівання в термічних печах поверхневий шар металу вкривається окалиною та втрачає вуглець, особливо при високих температурах та тривалому часі перебування у печі. Параметри гартування, такі як температура та час, залежать від складу сталі та специфічних технічних вимог до виробу. Для доевтектоїдних сталей температура гартування встановлюється вище критичної точки A_{C3} , а для заевтектоїдних - вище точки A_{C1} . Після гартування деталі швидко охолоджують, щоб отримати мартенситну структуру без трооститу та з мінімальною кількістю залишкового аустеніту, який має знижену границю пружності та може перетворюватися в мартенсит, знижуючи релаксаційну стійкість та збільшуючи схильність до сповільненого руйнування. Іноді після гартування проводять обробку холодом для запобігання цим негативним ефектам. Швидкість охолодження регулюється вибором охолоджуючого середовища, причому надмірно швидке охолодження може призвести до тріщин або короблення виробу.

Гартування ресорно-пружинних сталей, які належать до класу доевтектоїдних сталей, вимагає специфічного підходу. Визначення оптимальної температури гартування для таких сталей базується на виборі температури, що на 30-50 °C перевищує рівень критичної точки A_{C3} . Наприклад, для сталі 50ХФА, де температура точки A_{C3} становить 790 °C, ідеальною температурою для гартування буде в межах 820-840 °C. Така

температура є достатньою для повного переходу структурних елементів у аустеніт.

Гартування при температурах нижче зазначеного порогу може призвести до формування фериту в структурі сталі. Ферит, будучи м'яким компонентом, знижує загальну твердість та міцність матеріалу, при цьому збільшуючи його пластичність. Наявність фериту в загартованій сталі вважається небажаною. З іншого боку, гартування при завищених температурах також може негативно вплинути на властивості сталі, зокрема через укрупнення зерна та появу значної кількості залишкового аустеніту.

Процес гартування включає також витримку сталі при температурі гартування для забезпечення повного розчинення структурних компонентів. Зазвичай, ця витримка не перевищує 60 хвилин. Недостатня витримка може призвести до неповного розчинення компонентів, тоді як занадто тривала витримка може знизити твердість загартованої сталі.

Після процесу гартування ресорно-пружинних сталей важливим етапом є швидке охолодження, яке є критичним для формування мартенситної структури. Вибір правильного гартівного середовища є вирішальним для досягнення необхідної швидкості охолодження. Для цього типу сталей найбільш підходящим є масло, оскільки використання води може спричинити викривлення деталей, а охолодження повітрям не забезпечить достатньої швидкості, що може призвести до утворення перліту.

Остаточні механічні властивості ресорно-пружинних сталей визначаються процесом відпуску. Вибір режимів відпуску залежить від призначення та умов експлуатації пружних елементів. Зазвичай відпуск виконується при температурах, що сприяють формуванню структури трооститу відпуску, яка забезпечує високі значення границі пружності. Наприклад, відпуск сталі 65Г зазвичай проводять при 470 °С.

Троостит відпуску характеризується дрібнозернистою структурою, що забезпечує високу границю пружності, тому режим відпуску повинен бути суворо контрольованим як за температурою, так і за тривалістю.

Перегрівання під час відпуску може призвести до зниження твердості та втрати пружних властивостей через укрупнення зерен. Навпаки, недогрівання може спричинити надмірну твердість і крихкість через залишення мартенситу відпуску.

Стандартна витримка при відпуску становить 2-3 години, що необхідно для перетворення мартенситу гартування та залишкового аустеніту в троостит відпуску. Недотримання режиму відпуску, як у випадку недостатньої витримки, так і при занадто тривалій витримці, може погіршити пружні властивості матеріалу. Охолодження після відпуску зазвичай проводять на повітрі, що дозволяє уникнути викривлення виробів.

Режими термічної обробки та механічні властивості найпоширеніших видів ресорно-пружинних сталей вказані у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Режими термічної обробки і механічні властивості (мінімальні) ресорно-пружинних сталей загального призначення

Марка сталі	Критичні точки, °C		Режими гартування та відпуску			Механічні властивості			
	Ac ₁	Ac ₃	T _{зак} , °C	Гартівне середовище	T _{отп} , °C	σ _в , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %	ψ, %
65	727	782	830	масло	480	800	1000	10	35
85	730	-	820	масло	480	1000	1150	8	30
65Г	-	-	830	масло	470	800	1000	8	30
50С2	-	-	870	масло	460	1100	1200	6	20
55С2	775	840	870	масло	460	1200	1300	6	30
60С2	750	820	870	масло	470	1200	1300	6	25
50ХГ	750	775	850	масло	470	1200	1300	7	35
50ХГР	750	790	850	масло	470	1200	1300	7	35
50ХФА	-	-	850	масло	470	1100	1300	8	35
60С2Н2А	-	-	880	масло	420	1600	1750	6	20
60С2ХФА	-	-	850	масло	410	1700	1900	5	20
65С2ВА	-	-	850	масло	420	1700	1900	5	20
70С3А	-	-	860	масло	460	1600	1800	6	20

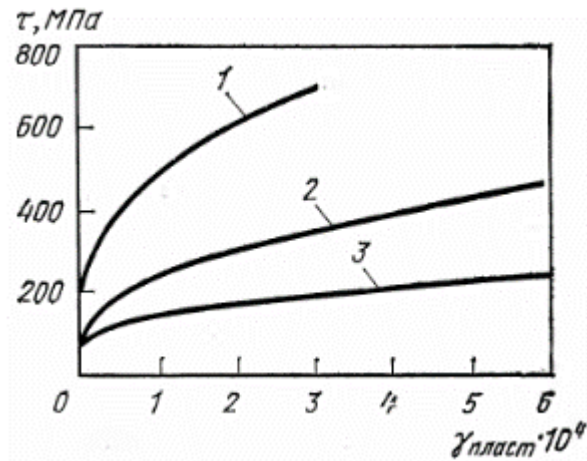
Для попередження поверхневого окислення і знеуглецювання нагрівання пружин, особливо малої товщини, слід проводити в захисній атмосфері або вакуумі. Нагрівання в соляних ваннах забезпечує отримання чистої поверхні, але може викликати поверхневі ушкодження, що знижують втомну міцність, що неприпустимо для пружин відповідального призначення.

Пружинна сталь після гартування поряд із підвищеним вмістом вуглецю у твердому розчині характеризується високою густиною дислокацій або внутрішніх двійників, а також дрібнозернистою структурою. Що менше зерно, то вищий опір малим пластичним деформаціям, нижчі локальні концентрації напружень на межах зерен у місцях стику кристалів мартенситу з межею вихідного аустенітного зерна і в процесі подальшого навантаження. За даними Г.А. Філіппова, стабільне поширення тріщини відбувається по межах колишніх зерен аустеніту, хоча остаточне руйнування відбувається через зерно. Тому при дрібному зерні менша схильність сталі до крихкого руйнування, особливо у високоміцному стані, і нижчі температури переходу з в'язкого стану в крихкий. Після термічної обробки пружинна сталь повинна також містити мінімальну кількість залишкового аустеніту, оскільки він характеризується більш низькою границею пружності, ніж мартенсит, особливо якщо в останньому відбулися процеси старіння. Тому в присутності залишкового аустеніту знижується опір помірним і малим пластичним деформаціям виробу в цілому (рис. 4.1).

У зв'язку з цим, щоб зменшити кількість залишкового аустеніту, у процесі термічної обробки пружин використовують усі відомі методи, зокрема раціонально обирають умови гартування його температуру і час нагрівання, а також охолодження.

Хоча в процесі відпуску пружин залишковий аустеніт і може зазнавати перетворення і це призводить до зростання межі пружності, продукти такого перетворення характеризуються меншим опором малим пластичним деформаціям, ніж продукти перетворення мартенситу. Після обробки

холодом, коли структура стала повністю мартенситною, сталь характеризується швидшим зростанням границі пружності під час відпуску, ніж та, що не піддавалася такій обробці і містить більшу кількість залишкового аустеніту.



1 - сталь з 1,35 % C; 5,6 % залишкового аустеніту; 2 - сталь з 1,36 % C, 19,8 % залишкового аустеніту; 3 - сталь з 1,37 % C, 30,2 % залишкового аустеніту

Рисунок 4.1 - Вплив кількості залишкового аустеніту на опір малим пластичним деформаціям загартованої високовуглецевої сталі

Остаточні властивості пружин визначаються умовами відпуску, в процесі якого реалізуються потенційні можливості для підвищення опору малим пластичним деформаціям і всього комплексу міцнісних властивостей, що створюються в процесі загартування мартенситним перетворенням. При цьому істотний вплив на процеси подальшого відпуску і властивості, що досягаються після нього, надають головним чином вміст вуглецю в мартенситі та його субструктура (щільність і розподіл дислокацій, наявність мікродвійників), але субструктура, мабуть, меншою мірою.

Максимум опору мікро- і малим пластичним деформаціям загартованих сталей досягається після відпуску в температурному інтервалі 200-400 °C, коли в структурі внаслідок розпаду кристалів мартенситу

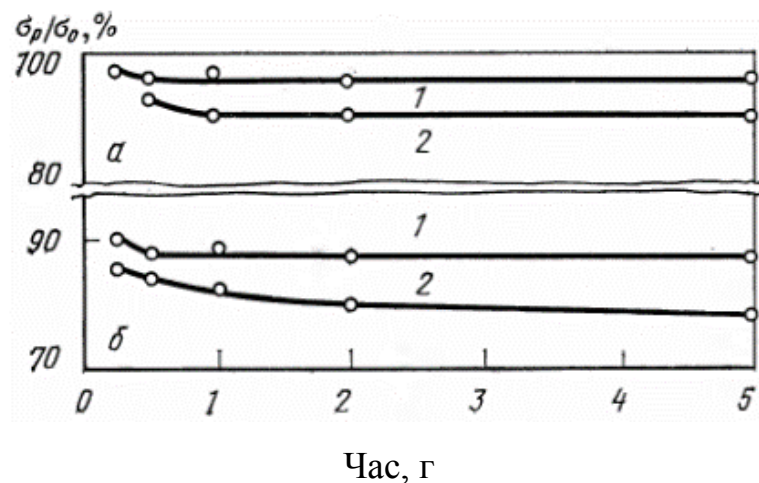
утворилася велика кількість дисперсних часток карбідів, когерентно пов'язаних із ґратами мартенситу та розташованих як в об'ємі кристалів, так і на кордонах двійників.

Є безсумнівна спільність між процесами зміни дислокаційної структури, що відбуваються під час відпуску сталі, загартованої на мартенсит, і сталі, підданої пластичній деформації. Щоб у результаті відпуску була досягнута висока границя пружності, сталь у вихідному стані після мартенситного перетворення або деформаційного наклепу повинна мати досить високу густину дислокацій. Під час відпуску і в загартованій, і в деформованій сталі відбуваються процеси, що мають між собою багато спільного, - зміни початкової дислокаційної структури мартенситу або фериту: утворення різноманітних сегрегацій і виділення карбідних часток (особливо з мартенситу), які закріплюють дислокації і тим самим стабілізують субструктури. Саме тому границя пружності деформованої або загартованої сталі після відпуску тим вища, чим вищий ступінь пластичної деформації або відповідно більша концентрація вуглецю в мартенситі.

Однак досягнуте в цих двох випадках зміцнення характеризується різною стійкістю. Релаксаційна стійкість пружин зі сталі після гартування і відпустки вища (рис. 4.2), ніж після деформаційного наклепу і відпуску, за однакових значень границі міцності. Цей ефект можна пояснити більш рівномірним розподілом дислокацій, що утворюють більш стабільні системи в сталі після загартування та відпустки, ніж після наклепу та такого ж відпустки. Режим відпуску загартованої сталі повинен забезпечувати не тільки досягнення певної структури продуктів перетворення мартенситу, а й досить повне перетворення залишкового аустеніту, що негативно впливає на властивості пружинної сталі. Режим гартування призначають так, щоб залишковий аустеніт максимально повно перетворювався під час обробки холодом, що найдоцільніше, або в процесі відпуску, але за таких її температур і такої тривалості, за яких не змінюється структура продуктів

перетворення мартенситу, а отже, не знижується його опір малим пластичним деформаціям.

Для надійної роботи пружин в умовах тривалого статичного і динамічного навантаження, а також за наявності концентраторів напружень режим відпуску, крім високого рівня межі пружності, повинен забезпечити певний рівень пластичності та в'язкості за підвищеного опору крихкому руйнуванню.



а - $t_p = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; б - $t_p = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, σ_0 -початкове напруження; σ_p - релаксувальне напруження.

Рисунок 4.2 - Релаксаційна стійкість пружин зі сталі 70С2ХА після гартування й відпускання при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ (1), а також після деформації й відпускання при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ (2)

Із зазначених причин режим відпуску має бути суворо регламентованим не тільки за температурою, а й за тривалістю. Так, максимальне значення границі пружності досягається у сталі У10А після гартування і відпускання при $250 \text{ }^\circ\text{C}$, 15 хв або після відпускання при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 1 хв; у сталі 70С2ХА після відпускання при $350 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 хв, у сталі 50ХФА - у разі відпуску при $300 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 хв ($\sigma_{0,01} = 1270 \text{ МПа}$), а при збільшенні витримки до 45 хв границя пружності знижується до 780-800 МПа.

Тому на практиці встановлюють такі температури відпуску пружин: 320-360 °С для сталі У10А; 380-480 С для 70С2ХА і 370-420 °С - для 50ХФА.

4.2 Розробка технології термічної обробки ресор зі сталі 50ХФА

Основним видом термічної обробки для пружин є гартування і відпускання.

Гартування — це зміцнювальна термічна обробка, яка полягає в нагріві сталі до температури вище критичних точок, витримці і подальшому охолодженні зі швидкістю більше критичної. Мета гартування — одержати мартенситну структуру з рівномірним розподілом вуглецю і підвищити твердість і міцність сталі.

Головні параметри процесу гартування: температура нагріву; час витримки; середовище, в якому нагрівають виріб; швидкість охолодження.

Відпуск сталей — операція термічної обробки, яка полягає в нагріванні загартованих сталей до температур, що не перевищують температури утворення аустеніту (A_{c1}), витримуванні при цих температурах для перетворення мартенситу гартування у більш рівноважні структури та наступного охолодження.

На відміну від продуктів розкладання переохолодженого аустеніту (сорбіт, троостит), які мають пластинчасту форму цементиту, продукти розкладання мартенситу під час нагрівання (сорбіт відпуску, троостит відпуску) мають зернисту форму цементиту, тому за інших рівних умов вони характеризуються більшими ударною в'язкістю й границею витривалості в умовах руйнування від втоми.

Головним параметром режиму відпускання, який визначає структуру, а отже, властивості сталі й застосування відпускання, є температура.

- середньотемпературне (середній) відпускання проводять в інтервалі температур 350...450°С для усунення гартівних напружень і утворення

структури трооститу відпуску, яка має високу пружність, витривалість, релаксаційну стійкість і твердість в межах 40–50 HRC. Його застосовують для ресор, пружин, штампів гарячого деформування;

Тривалість витримки при відпусканні залежить насамперед від температури відпуску й габаритів виробів. Вона збільшується зі збільшенням розмірів виробів та зниженням температури відпуску й змінюється переважно в межах від 1 до 5 годин.

Швидкість охолодження передусім впливає на внутрішні напруження. Тому в процесі відпуску вироби, особливо складної форми, з легованих сталей, переважно охолоджують повільно — на повітрі, щоб зменшити внутрішні напруження та уникнути небезпеки їх жолоблення. Проте в окремих випадках деякі вироби необхідно охолоджувати швидко, як-от:

- пружини, ресори охолоджують на повітрі, щоб збільшити в поверхневому шарі напруження стискання (коли у структурі утворюється мартенсит), які підвищують границю витривалості, протидіючи утворенню та поширенню втомних тріщин;

- деталі з легованих сталей, схильних до зворотної відпускну крихкості, під час високотемпературного відпуску охолоджують швидко, щоб загальмувати розвиток відпускну крихкості й уникнути окрихчення.

Для гартування використовується піч СНЗА 8.16.5/9.

«С» – електрична піч;

«Н» – камерна;

«З» – захисна атмосфера;

«А» – агрегат;

«8» - ширина робочого простору (В=800мм);

«16» - довжина робочого простору (L=1600мм);

«5» - висота робочого простору (Н=500мм);

«9» - максимальна температура експлуатації печі ($t = 900^{\circ}\text{C}$).

Для відпускання використовується піч СНОА 8.16.5/5.

«С» – електрична піч;

«Н» – камерна;

«О» – окисна атмосфера;

«А» – агрегат;

«8» - ширина робочого простору (В=800мм);

«16» - довжина робочого простору (L=1600мм);

«5» - висота робочого простору (Н=500мм);

«5» - максимальна температура експлуатації печі (t =500°C).

Обидві печі для термічної обробки пружних елементів однакові за розмірами робочого простору, тому розрахунки кількості деталей, що підлягають одночасній термічній обробці і маси садок для них будуть однаковими.

Розраховуємо кількість виробів що розташовуються по довжині робочого простору печі СНЗА 8.16.5/9 та СНОА 8.16.5/5:

$$n_d = L/(l+l/2)$$

де L – довжина робочого простору, 1600мм;

l – довжина ресори, 1000 мм;

$$n_d = 1600/(1000+1000/2)=1,1 = 1 \text{ шт.}$$

Розраховуємо кількість виробів, що розташовується по ширині робочого простору печі:

$$n_{ш} = B/(b+b/2)$$

де B – ширина робочого простору, 800 мм;

b – ширина ресори , 70 мм;

$$n_{ш} = 800/(70+70/2) = 7,6 = 7 \text{ шт.}$$

Тоді в одному ярусі розташовується: $n_{\text{яр}} = n_{\text{д}} * n_{\text{ш}} = 1 * 7 = 7$ шт. виробів.

Розраховуємо кількість виробів в робочому просторі по висоті:

$$n_{\text{h}} = H / (h + h/2)$$

де H – висота робочого простору, 500мм;

$$n_{\text{b}} = 500 / 30 \approx 16,6 = 16 \text{ ярусів}$$

Кількість виробів в печі розраховуємо за формулою:

$$N = n_{\text{яр}} * n_{\text{b}} = 7 * 16 = 112 \text{ шт.}$$

Маса садки

$$M_{\text{с}} = N * m_{\text{виробу}}$$

$$M_{\text{с}} = 112 * 10,92 = 1223 \text{ кг.}$$

Загальна тривалість нагрівання $\tau_{\text{заг}}$, хв., визначається за формулою:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{ох}}$$

де $\tau_{\text{н}}$ - час нагрівання до заданої температури, хв.;

$\tau_{\text{в}}$ - час витримки при технологічній температурі, хв.

$\tau_{\text{ох}}$ - час охолодження, хв.

Час нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = S * K * f * L,$$

де S - характеристичний розмір виробу, мм;

K – коефіцієнт форми ($K=2$);

f – коефіцієнт розташування виробів в нагрівальному пристрої, що впливає на час нагрівання, хв ($f=2,2$);

L – коефіцієнт легування сталі ($L=0,96$).

S обирається за робочим кресленням і залежить від товщини виробу ($S=20/2=10$ мм).

Таким чином

$$\tau_H = 10 * 2 * 2,2 * 0,96 = 42,24 \text{ хв.}$$

Визначаємо час перебування при гартуванні: 1 хв. на 1 мм товщини.

$$\tau_B = 1 \text{ хв/мм} * 10 = 10 \text{ хв.}$$

Охолодження виробів відбувається в маслі, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{вп}} - t_{\text{вп}}) / V_{\text{ох}}$$

$$V_{\text{ох}} = 50^\circ\text{C/с}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (850 - 20) / 50 = 17 \text{ с} = 0,28 \text{ хв.}$$

Таким чином загальний час при гартуванні становить:

$$\tau_{\text{заг}} = 42,24 + 10 + 0,28 = 53 \text{ хв.}$$

Розраховуємо тривалість обробки при відпусканні

$$\tau_H = 10 * 2 * 2,2 * 0,96 = 42,24 \text{ хв.}$$

$$\tau_{\text{в}} = 10 \text{ хв/мм} + 1 \text{ хв/мм} * 10 = 20 \text{ хв.}$$

Охолодження виробів відбувається на повітрі, тобто:

$$\tau_{\text{охол}} = (t_{\text{вп}} - t_{\text{вк}}) / V_{\text{охол}}$$

$$V_{\text{охол}} = 5^{\circ}\text{C}/\text{с}$$

$$\tau_{\text{охол}} = (470 - 20) / 5 = 90\text{с} = 1,5 \text{ хв}$$

$$\tau_{\text{заг}} = 42,24 + 20 + 1,5 = 64 \text{ хв}$$

Графік термічної обробки пружини задньої підвіски зі сталі 50ХФА наведено на рисунку 1.3

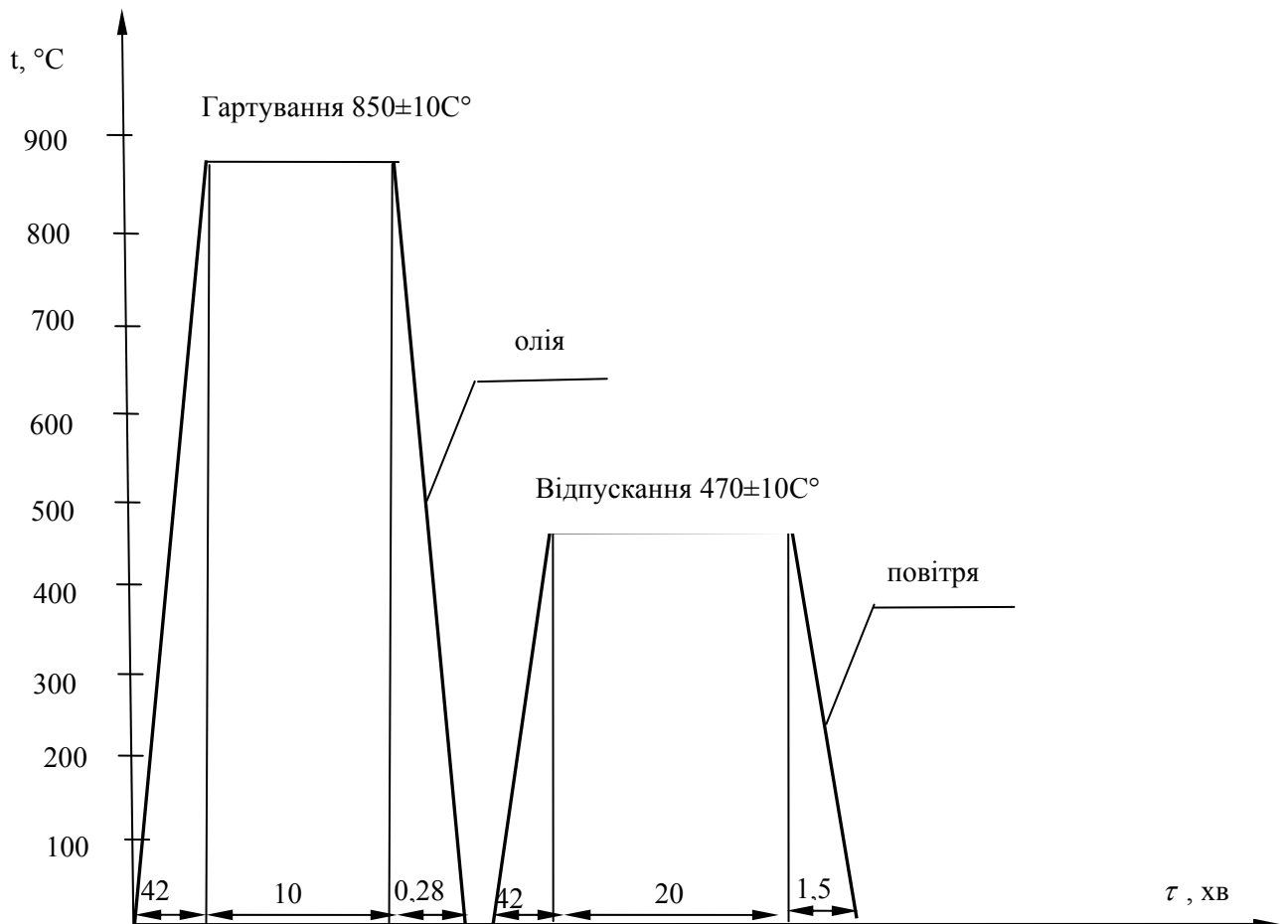


Рисунок 4.3- Графік термічної обробки ресори підвіски зі сталі 50ХФА

Карта технологічного процесу термічної обробки – це основний технологічний документ, котрий дозволяє здійснювати термічну обробку

виробів і забезпечувати необхідну якість продукції та її відповідність технічним вимогам. Якісно розроблена і складена карта дозволяє виконавцям (термістам, операторам, контрольним майстрам) здійснювати свої виробничі функції. За її використанням виконавець повинен здійснювати термічне оброблення без консультації із розробником. Карта технологічного процесу термічної обробки для пружини наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2– Карта технологічного процесу термічної обробки пружини зі сталі 50ХФА

				Технічні вимоги		
				Матеріал	Твердість	Структура
				50ХФАА	HRC 45...49	троостит
№	Назва операції	Прилади, інструменти, обладнання	Умови нагрівання	Умови охолодження	Пристосування	Умови оброблення, контроль
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вхідний контроль	Стилоскоп, лінійка, штангенциркуль, твердомір (ТШ-2)				Матеріал, стан поверхні, розміри, геометрія, твердість.
2. 2.1 2.2 2.3	Гартування Нагрівання Витримка Охолодження	СНЗА 8.16.5/9 пристрій КСП-3, Термопара ТПП Гартівний механізований бак	$t_n = 850 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_i = 42$ $\tau_\theta = 10 \text{ хв.}$	Олія $t = 20 \dots 70^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{охол}} = 0,28 \text{ хв}$	112 виробів $M_c = 1223 \text{ кг}$	Контроль температури і часу витримки
3	Промивання	ММТТ				Мийний розчин (CaCO_3 4...6% у воді) $t = 60-90^\circ\text{C}$ $\tau = 25-35 \text{ хв}$

Продовження таблиці 4.2

4.	Контроль операційний	ТК-2				Твердість, мікроструктура
5. 5.1 5.2	Відпуск Нагрівання Витримка	СНОА 8.16.5/5 пристрій КСП-3, Термопара ТПП	$t_H = 470 \pm 10^\circ\text{C}$ $\tau_H = 42 \text{ хв.}$ $\tau_\theta = 20 \text{ хв}$		112 виробів M _c = 1223 кг	Контроль температури і часу витримки
5.3	Охолодження	стіл	На повітрі	$t_{\text{охол}} = 1,5 \text{ хв}$		
6	Контроль вихідний	Мікроскоп, твердомір				Контроль твердості, мікроструктури

5 ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ БРАКУ

У процесі контролю якості металу оцінюють результати перевірок і приймають рішення про відповідність партії металу встановленим вимогам. Якщо контрольні випробування здійснюються з повною впевненістю в їх правильності, а отримані дані відповідають технічним умовам, ухвалюється рішення про прийняття даної партії металу для виготовлення конкретних деталей.

Вхідний контроль металу вирішує такі завдання: визначення відповідності металу стандартам, технічним умовам і замовленню; виявлення дефектів у металі, їх характеру та ступеня ураження; запобігання проникненню дефектного металу у виробництво.

Види вхідного контролю: візуальне оглядання із застосуванням чи без застосування збільшувальних приладів; аналіз хімічного складу; визначення механічних властивостей; аналіз мікро - та макроструктури.

У випадку виявлення невідповідності партії металу технічним вимогам за одним або кількома показниками якості, метал повертають постачальникам зі штрафними санкціями відповідно до встановленого порядку.

Іноді приймається інше рішення – використання «невідповідного» металу за призначенням, але із сортуванням або виправленням дефектів, за умови, що якість деталей не погіршується.

Хімічний склад металу або сплаву визначається згідно з вимогами ГОСТ 7565-81. Якщо виявляється розбіжність отриманих результатів з даними сертифіката, цій ситуації дається відповідна оцінка, враховуючи вплив відхилень на всі стадії технологічного процесу виготовлення деталі і її якість.

Якість поверхні впливає на якість готових деталей. Під якістю поверхні розуміють механічний та фізико-хімічний стан поверхневих шарів металу. В реальних умовах виробництва неможливо отримати ідеальну поверхню, тому йдеться про наближення якості поверхні до необхідних показників, оскільки завжди існують допустимі стандартами відхилення.

При оцінці якості поверхні литих заготовок враховують їх призначення та технологію виготовлення з них деталей.

Більшість стандартів встановлюють загальні вимоги до мікроструктури металу, зокрема, до відсутності усадочних раковин, рихлості, пухирів, тріщин, розшарувань, шлакових включень та флокенів. Перелічені дефекти пов'язані з умовами виплавки та розливу сталі. Запобігання їх виникненню досягається дотриманням встановленої технології виробництва сталі.

Також є ряд показників якості макроструктури, пов'язаних з процесом кристалізації рідкої сталі (пористість, неоднорідність, ліквация тощо), на які відповідні стандарти встановлюють відповідний рівень.

У деяких випадках стандарти висувають вимоги до мікроструктури сталі у стані постачання. Це пов'язано з необхідністю забезпечення технологічності сталі при виготовленні з неї деталей у споживача, а також із забезпеченням необхідної надійності та довговічності деталей.

Під час проведення термічної обробки для отримання якісної деталі з необхідними властивостями контролюються такі технологічні операції:

- гартування: температура нагрівання, час нагрівання та витримки, захисна атмосфера; швидкість охолодження, склад і температура загартовувальної рідини бака; мікроструктура та кількість залишкового аустеніту, твердість;

- проміжна операція: промивання деталі від олії.

- середньотемпературний відпуск: температура нагрівання, час нагрівання та витримки, захисна атмосфера; мікроструктура, твердість.

- контроль мікроструктури проводиться на зразках-свідках або на деталі.

- контроль технологічних параметрів здійснюється 2-3 рази на тиждень (у разі масового виробництва).

Оптимальною для ресор, виготовлених зі сталі 50ХФА, є мікроструктура трооститу. Допустимою є структура, що відповідає балу 3. Структура крупноглокового мартенситу (бал 4), що свідчить про перегрів сталі при загартуванні, а також структури, які містять продукти немартенситного перетворення (бали 5 і 6) також є неприпустимими, оскільки не забезпечують необхідний комплекс механічних властивостей пружного елемента. На поверхні загартованої деталі не повинно бути знеуглецьовування.

Порушення режиму термічної обробки може призводити до появи таких дефектів: крупне аустенітне зерно, знижена твердість, підвищена твердість, знеуглецьовування. Види дефектів при термічній обробці пружин та заходи по їх усуненню та попередженню наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Види дефектів термічній обробці пружин та заходи по їх усуненню та попередженню

№ п/п	Вид дефекту	Причина виникнення дефекту	Заходи по запобіганню появи дефекту	Заходи по усуненню дефекту
1	2	3	4	5
Гартування				

1	Занижена твердість	<ol style="list-style-type: none"> 1.Невірно обране охолоджувальне середовище. 2.Зневуглецювання поверхневого шару. 3.Занижена температура гартування. 4.Невірно обраний матеріал виробу. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Заміна гартівного середовища. 2.Використання захисної атмосфери. 3.Дотримання раціональних температур гартування. 4.Заміна матеріалу. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відпал і повторне гартування в раціональному середовищі. 2.Реставраційна цементация для отримання вихідного вмісту вуглецю і повторна ТО. 3. Відпал і повторне гартування від раціональних температур. 4. ТО за раціональними режимами для заданого виробу і матеріалу.
---	--------------------	---	--	---

Продовження таблиці 5.1

2	Завищена твердість	<ol style="list-style-type: none"> 1.Понижена температура гартування, понижений час витримки при раціональній температурі. 	Термічна обробка виробів з дотриманням раціональних температур та витримки	Відпал із повторною ТО з оптимальними параметрами.
3	Виникнення гартівних тріщин	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нагрівання із високими швидкостями в наслідок яких відбувається перепад температур. 2.Різде охолодження. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Використання сходинкового нагрівання. 2. Використання м'яких гартівних середовищ. 	Дефект не виправний.
4	Завищена кількість $A_{\text{зал}}$	<ol style="list-style-type: none"> 1.Висока температура гартування. 2. Завищений час витримки. 	Термічна обробка виробів з дотриманням раціональних температур та витримки	<ol style="list-style-type: none"> 1.Обробка холодом з наступним низькотемпературним відпусканням. 2.Відпал і повторне гартування.

5	Завищена деформація та короблення	<p>1. Нераціональне розташування виробів в садці та при охолодженні.</p> <p>2. завищена температура гартування та швидкість охолодження.</p>	<p>1. Раціональне розташування виробів в садці та гартівному пристрої.</p> <p>2. Використання гартівних машин.</p> <p>3. Гартування від підвищених температур з метою збереження вмісту А.</p>	<p>1. Рихтування, ТО виробів.</p> <p>2. Відпал і повторне гартування.</p> <p>3. Використання обробки холодом з метою регулювання розмірів виробу.</p>
Відпускання				
1	Завищена твердість	<p>1. Занижена температура або час відпускання.</p> <p>2. Використання сталей більшої теплостійкості.</p>	<p>Термічна обробка за раціональними режимами.</p> <p>Використання раціонального матеріалу.</p>	<p>Повторне відпускання при більш високих температурах.</p>
2	Занижена твердість	<p>1. завищена температура і час витримки.</p> <p>2. Знеуглецювання.</p> <p>3. завищена кількість $A_{\text{зал}}$.</p>	<p>Термічна обробка за раціональними режимами.</p>	<p>1. Відпал з наступним гартуванням за раціональним режимом.</p> <p>2. Навуглецювання + гарт + відпускання.</p> <p>3. Обробка холодом з наступним відпусканням.</p>

6 ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕСОР ЗАСТОСУВАННЯМ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) має велике практичне значення для ресорно-пружинної сталі, оскільки забезпечує зростання міцності, підвищує втомну міцність (зокрема й малоциклову), а також опір руйнуванню, пластичність та ударну в'язкість, знижує температуру порога крихколамкості, практично усуває оборотну відпускну крихкість і зменшує водневе окрихчування. З огляду на особливий характер субструктури, що формується під час ВТМО, слід вважати, що в цьому випадку має підвищуватися опір малим пластичним деформаціям в умовах короткочасного і тривалого навантаження - найважливіших властивостей пружинних сталей.

Насамперед цій обробці можна піддавати вуглецеві, низко- і середньолеговані сталі безпосередньо в умовах гарячої деформації, яку виконують на металургійних або машинобудівних заводах. При цьому в багатьох випадках не потрібно встановлювати додаткове обладнання і можна використовувати тепло, запасене металом під час нагрівання, для здійснення операцій формозміни. Таким чином, процеси формування (формозміни) і зміцнення можуть бути об'єднані при ВТМО в одну технологічну операцію. Однак для цього необхідно створити такі температурно-деформаційні умови, особливо під час останніх обтиснень, за яких у сталі створюється оптимальна мікро- і субструктура, що забезпечує підвищений комплекс механічних властивостей.

Ці температурно-деформаційні умови залежать від складу сталі, ступеня, швидкості та схеми деформації; вибирають їх зазвичай емпірично для кожного конкретного виробу. Інша перевага ВТМО в тому, що під час

використання можна реагувати на ефект успадкування або збереження субструктури, створеної цією обробкою, навіть після повторної фазової перекристалізації (повторного гартування). Цей ефект має важливе значення не тільки для розуміння природи субструктурних змін, а й для створення нових технологічних процесів. На ефекті успадкування, зокрема, засновані методи спадкового термомеханічного зміцнення, за яких після термомеханічної обробки проводять високий відпуск для полегшення обробки різанням або здійснення операцій холодної деформації (після цієї холодної деформації доцільно провести додатковий відпуск при температурі ~ 400 °C), а потім повторне гартування й остаточний відпуск. Зі створенням цього процесу істотно розширилася область застосування термомеханічної обробки.

Дуже висока ефективність поєднання деформаційного наклепу аустеніту з подальшим його мартенситним перетворенням. Структурними дослідженнями встановлено [35], що ВТМО середньовуглецевої сталі дещо зменшує розмір пакетів мартенситу, а їхній розподіл за розмірами стає більш однорідним. Крім того, розміри рейок (пластин) у пакетах зменшуються і таким чином збільшується поверхня дислокаційних субмеж всередині пакетів. Однак розміри фрагментів і відстань між дислокаціями в рейках під дією ВТМО не змінюються. У високовуглецевій сталі ВТМО збільшує об'єм пакетного мартенситу і подрібнює ділянки двійникового мартенситу. Ці зміни субструктури мартенситу, що полягають у зростанні щільності дислокацій або відповідно субмеж, визначають зростання опору ковзання, зокрема й на початкових його стадіях. Зростання щільності субграниць і ступеня розорієнтації на межах пакетів збільшує опір розвитку тріщин, що проявляється в зростанні мікрозвивистості границь.

ВТМО, крім того, збільшує частку двофазного розпаду і, відповідно, об'єм низьковуглецевого "кубічного" мартенситу, що пояснюється підвищенням температури мартенситної точки через імовірне розшарування аустеніту за концентрацією вуглецю. При цьому відбувається і переміщення

атомів вуглецю до дислокацій в аустеніті аж до утворення карбідної фази. Ці зміни субструктури мартенситу і розподілу атомів вуглецю в ньому впливають на процеси, що відбуваються під час відпустки, що призводять до зростання опору малим пластичним деформаціям і релаксаційної стійкості.

Важливе значення для пружинних сплавів має також поєднання деформації мартенситу з подальшим його відпуском (старінням). При цьому мартенсит додатково зміцнюється за рахунок наклепу і взаємодії атомів вуглецю з дислокаціями і вакансіями як у процесі деформації, так і особливо під час подальшого старіння (відпустки). Цей процес деформаційного старіння мартенситу забезпечує підвищення границі пружності.

Ефективність ВТМО насамперед визначається режимом гарячої деформації аустеніту, що має забезпечити формування в результаті динамічної полігонізації стійкої субструктури, яку успадковують утворювані під час охолодження мартенсит або бейніт. Для формування подібної субструктури мають бути відповідним чином обрані температура і ступінь деформації та встановлена тривалість післядеформаційної витримки перед гартуванням, щоб уникнути розвитку рекристалізаційних процесів. ВТМО істотно підвищує весь комплекс основних властивостей сталі, що пов'язано зі зміною її субструктури. Про це свідчить і зростання розширення дифракційних ліній, що характеризує інтегральну густину дислокацій. Приблизно такий самий ефект від ВТМО отримано і під час її здійснення у виробничих умовах.

Властивості сталі 50ХФА, яку широко застосовують для виготовлення різноманітних пружин, вивчали після застосування термомеханічної обробки за технологічними схемами ВТМО і ПТМО. В. І. Щербаковим і О. І. Шавріним була вивчена ВТМО сталі 50ХФА в умовах волочіння. ВТМО виконували на спеціальній установці з нагріванням заготовок струмами високої частоти. до 920 °С, волочіння проводили зі швидкістю 3,8 м/хв при оптимальному ступені деформації 20 % з подальшим охолодженням у гліцерині та відпусканням при 240 °С. Однак ВТМО в цих умовах не

поліпшила властивостей сталі. Щоправда, після відпускання за 300 °С міцність сталі 50ХФА після ВТМО виявилася вищою за майже однакової пластичності порівняно з тими, що отримують після звичайного гартування і відпускання при 300 °С (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняння властивостей сталі 50ХФА після різних видів термічної обробки

	ВТМО + відпускання 300 °С	гартування + відпускання 300 °С
σ_B , МПа	1970	1810
$\sigma_{0,2}$, МПа	1900	1670
δ , %	5,4	6
ψ , %	29	35

Після ВТМО у зазначених вище умовах: проміжного відпускання при 650 °С, повторного гартування при 860 °С, 2 хв з охолодженням в олії та відпусканням при 240 °С комплекс механічних властивостей виявився вищим як за міцністю, так і за пластичністю $\sigma_B = 2110$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1900$ МПа, $\delta = 7\%$, $\psi = 40\%$ в порівнянні з досягнутим після "прямого" ВТМО і відпускання при 240 °С або звичайного гартування і того ж відпуску.

ВТМО сталі 50ХФА із застосуванням деформації прокаткою також забезпечує підвищення механічних властивостей. За даними В.П. Копалейшвілі, після ВТМО за режимом: температура нагріву 880 °С, ступінь деформації 32 %, охолодження в маслі та відпускання при 200 °С $\sigma_B = 2180-2330$ МПа, $\psi = 12-28\%$, що відповідає рівню властивостей, що досягаються після застосування інших, описаних вище, способів деформації при виконанні ВТМО.

Ефективним методом зміцнення пружинного дроту зі сталі 50ХФА є процес типу ПТМО, запропонований М. І. Поповим. Він складається з

попереднього патентування на нижній бейніт (температура перетворення 420 °С), холодної деформації з обтисненням близько 80 %, швидкісному електроконтактному нагріву (50 °С/с) до температури 900 °С з охолодженням спершу у свинцевій ванні (другий контакт) з температурою 320 °С, а потім у маслі. У разі такої вихідної структури і швидкісного нагріву до температури гартування відбувається швидке розчинення карбідів з утворенням сегрегацій, що сприяє більш повному успадкуванню субструктури, створеної попередньою деформацією. Таким чином, успадкування субструктури і ступінь розчинення карбідів взаємопов'язані між собою. Після додаткового відпуску при 200 °С сталь 50ХФА має такі механічні властивості: $\sigma_b = 2350$ МПа, $\psi = 42-44$ %, тоді як тимчасовий опір розриву після звичайного гартування (без попередньої деформації) дорівнює 2060 МПа. На сталі 67Х05Ф, запропонованій Н.І. Поповим замість 50ХФА з метою прискорення проміжного перетворення аустеніту в нижній бейніт у процесі попереднього бейнітування, після ПТМО за зазначеним вище режимом і швидкісного відпускання при 470-500 °С, 30 с на дроті діаметром 1,4 мм досягають таких механічних властивостей: $\sigma_b = 1730-1830$ МПа, $\psi = 50-52$ %, кількість згинів 12-13, кількість скручувань 18-20, що вище за вимоги ГОСТу. Таким чином, метод ПТМО видається досить ефективним для зміцнення пружинного дроту.

Отже, високотемпературна термомеханічна обробка сталі 50ХФА є перспективним напрямком для підвищення її експлуатаційних властивостей, особливо для виробів, що працюють у умовах високих навантажень, таких як ресори. Застосування ВТМО дозволяє досягти значного збільшення міцності, втомної міцності, пластичності та ударної в'язкості. Практичне застосування ВТМО на сталі 50ХФА показало, що така обробка істотно підвищує всі основні механічні властивості сталі, зокрема міцність та пластичність. Експерименти з ВТМО в умовах волочіння з оптимальним ступенем деформації 20 % та відпусканням при 240 °С показали підвищення міцності сталі 50ХФА порівняно з традиційним гартуванням та відпусканням. Це

вказує на великий потенціал ВТМО у виробництві ресор зі сталі 50ХФА, забезпечуючи більш високий рівень механічних властивостей при одночасному збереженні чи покращенні інших експлуатаційних характеристик. На основі отриманих даних було запропоновано технологічну схему термомеханічної обробки ресор зі сталі 50ХФА (табл. 6.1)

Таблиця 6.1 - Схематермомеханічної обробки сталі 50ХФА

Етап обробки	Деталі процесу
Підготовка матеріалу і попереднє нагрівання	Перевірка якості сталі 50ХФА, нагрівання заготовок до 920 °С струмами високої частоти
Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО)	Волочіння зі швидкістю 3,8 м/хв, ступінь деформації 20%
Охолодження і проміжний відпуск	Охолодження в гліцерині, відпуск при 240 °С
Повторне гартування та кінцевий відпуск	Гартування при 860 °С протягом 2 хв з охолодженням в олії, відпуск при ~400 °С

Ця технологія вимагає точного контролю температури та часу на кожному етапі для досягнення необхідних властивостей сталі.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

В процесі термічної обробки на дільниці можливі наступні небезпеки:

- ураження електричним струмом в результаті порушення правил електробезпеки, несправності обладнання для підготовки дослідницьких зразків може призвести до електричних травм або летального наслідку;
- термічні опіки внаслідок торкання нагрітих поверхонь обладнання або зразків, знехтування індивідуальними захисними засобами;
- хімічні опіки внаслідок необережного поводження з травильниками при травленні мікрошліфів;
- механічні травми при виготовленні зразків для металографічних досліджень структури при використанні обладнання з частинами, що обертаються;
- незадовільні параметри повітряного середовища на робочому місці через неправильну систему кондиціювання призводять до захворювання органів дихальних шляхів та легенів, а також негативно впливають на шкіру та очі;
- напруженість праці-характеристика трудового процесу, що пов'язана з навантаженням переважно на центральну нервову систему, органи чуття, емоційну сферу працівника – монотонність, емоційні перевантаження, що може призвести до роздратованості, зниження насаги на дотримання правил безпеки, втоми та перевтоми, втрати працездатності;
- незадовільні ергономічні умови робочого місця , внаслідок використання застарілого офісного обладнання, не відповідності параметрів робочого місця антропометричним характеристикам виконавця., що може призвести до зниження працездатності та пошкоджень опорно-рухового апарату;

- недостатнє освітлення через вихід з ладу освітлювальних приладів та неправильного їх розміщення впливає на функціонування зорового апарату, тобто визначає зорову працездатність, на психіку людини, її емоційний стан, викликає втому центральної нервової системи, що виникає в результаті докладених зусиль для впізнання чітких чи сумнівних сигналів;

- можливість загоряння внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожежі;

- неправильні дії в надзвичайних ситуаціях через недотримання правил дії при надзвичайних ситуаціях може призвести до паніки.

7.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки

Для запобігання ураження електричним струмом електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки», ГОСТ 12.2.003-91 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки» и ПУЕ-2007. Експлуатація електрообладнання та електроустановок має проводитися відповідно «Правила технічної експлуатації електроустановок» (ПТЕ), «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачем» та «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем».

Для забезпечення захисту від випадкового торкання до струмопровідних частин необхідно прийняти наступні способи і засоби: захисне огороження; ізоляція струмопровідних частин; захисне відключення; блокування; знаки безпеки. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при торканні до металевих не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалу системи захисних дротів, захисне відключення,

ізоляцію не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою вище 24 В. засоби індивідуального захисту та ін. Всі металеві частини виробничого обладнання (станини, корпуси, електродвигуни, каркаси пультів керування та ін.), якщо вони можуть опинитися під напругою вище 42 В, мають бути заземлені згідно ПУЕ-2007. Для цього їх оснащують легко оглядним пристроєм заземлення $R < 4 \text{ Ом}$ або з'єднують з нульовим дротом.

Для уникнення хімічних опіків передбачено:

-зберігання кислот у місцях, де можливе їх стикання з деревиною, та іншими речовинами органічного походження (для нейтралізації випадково розлитих кислот місця їх зберігання необхідно забезпечувати готовими розчинами крейди, вапна або соди);

-під час зберігання азотної та сірчаної кислот треба вжити заходів до недопущення стикання їх з деревиною, та іншими речовинами органічного походження. Концентровану азотну кислоту не дозволяється розливати у скляні сулії.

-мати поблизу нейтралізуючі речовини, аптечку, джерело проточної води.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах:

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктований наладчиками;

- перед установкою коло ретельно оглянути на відсутність тріщин;

- користуватися колами, мають тріщини або вибоїни, забороняється.

Круги абразивні повинні мати штамп або наклейку про випробування - порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування. Використання кіл без відмітки про випробування забороняється. Дані про випробування кожного кола записуються в журнал випробувань кола;

- у кожного верстата вивішати табличку із зазначенням допустимої роботи окружної швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;

- обертається абразивний круг, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;

- підручники повинні мати достатню за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм;

- при заточуванні інструменту не ставати проти поворотного круга. Стояти дозволяється поза небезпекою обертання кола (каменя);

- при роботі на верстаті підводити деталь необхідно плавно, не допускати ударів деталі про коло;

- при виявленні биття кола необхідно зупинити верстат і встановити несправність;

- при заточуванні інструмент надійно тримати в руках, щоб не допустити заклинювання його між підручником і кругом.

Під час роботи заточувальних верстатів не допускається: зачищати коло і торкатися його руками;

- користуватися несправними і невипробуваним колами;

- відкривати захисні кожухи кола, вала, шпинделя, шківа, ременя;

- одягати, знімати і перекладати ролики;

- працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028-82 «Процессы обработки абразивным и эльборовым инструментом»

Напруженість праці визначається згідно ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Для профілактики втомі застосовують скорочену тривалість робочого дня, враховують засоби механізації, автоматизації, застосовують раціональну організацію трудового процесу, максимально скорочують статичні операції, усувають зайві прийоми у роботі і т. ін.

Важливе значення для профілактики втоми має режим праці та відпочинку, що передбачено в КЗпП. Завдяки періодам відпочинку, що регламентується законодавством, працездатність відновлюється, що є функціональною властивістю організму людини.

При обладнанні робочого місця для проведення дослідницьких робіт необхідно враховувати, що конструкція всіх елементів виробничого обладнання, з якими людина в процесі трудової діяльності здійснює безпосередній контакт, повинна відповідати його антропометричним характеристикам, при виконанні робіт в сидячому положенні в конструкцію робочого місця слід включити крісло і підставку для ніг, а також передбачити в конструкції виробничого обладнання простір для розміщення ніг, що дозволяють виконувати роботи при високій посадці працюючого згідно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Обладнання виробниче. Загальні ергономічні вимоги. Робоче місце при виконанні робіт в положенні сидячі повинно відповідати вимогам ГОСТ12.2.032-78 Робоче місце при виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги при виконанні робіт, в положенні стоячи - ГОСТ12.2.033-78 Система стандартів безпеки праці. Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

7.3 Заходи із забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціонування приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Устаткування для кондиціонування повітря та вентиляції. Загальні вимоги безпеки», СНиП 2.04.05-91 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", ГОСТ 30646-99 "Кондиціонери центральні загального

призначення. Загальні технічні умови", ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ "Лампи електричні. Вимоги безпеки", ГОСТ МЕК 60598-2-2-2002 "Світильники. Частина 2. Приватні вимоги. Розділ 2. Світильники вбудовувані".

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I–III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

В роботі передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площі.

Найбільш точним методом для розрахунку загального рівномірного освітлення, що враховує прямий світловий потік світильників та відбите світло від стін і стелі, вважається метод світлового потоку (або коефіцієнта використання світлового потоку). Метод дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення.

Основними розрахунковим рівнянням методу світлового потоку є:

(7.1)

Φ_{λ}

де - розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

E_n

- нормоване значення освітленості, лк;

S - площа освітлюваної поверхні, м²;

k_z - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості;

N - загальна кількість світильників;

n - кількість ламп у одному світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Для розрахунку необхідно визначити площу освітлюваної поверхні, в даному випадку використано приміщення розмірами 5,5*4,6*3(м), тобто площа освітлюваної поверхні 25,3 м².

Вибираємо систему освітлення: для приміщень лабораторного типу використовується комбіноване освітлення.

Визначаємо рівень нормованої освітленості (E_n) в залежності від найменшого розміру об'єкта розрізнення (від 0,3 до 0,5 мм). Так як робота потребує високої точності, то розряд зорових робіт – III г, $E_n = 200$ лк.

Вибираємо джерела світла. Так як в приміщенні замало природного світла, ведуться роботи з дрібними об'єктами, доцільно обрати люмінесцентні лампи денного світла (ЛД).

Обираємо тип світильника для обраних ламп з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення. Світильники типу НПБ:згідно ГОСТ 14254–80 IP = 21, L/h = 1,4.

Оцінюємо коефіцієнт запасу та коефіцієнт нерівномірності освітлення: $k_z = 1,55$; $z = 1,1$.

Оцінюємо коефіцієнт відбиття поверхонь приміщення в залежності від виділення пилу у процесі роботи. Так як робоче приміщення – світле, то маємо значення коефіцієнтів: $\rho_c = 70\%$; $\rho_{ст} = 50\%$; $\rho_{п} = 30\%$.

Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = B / ((H - h) \cdot [L / h]) = 4,6 / ((3 - 1) \cdot 1,4) = 2 \text{ ряди}$$

Визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{\max} = B / N_p = 4,6 / 2 = 2,3 \text{ м}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$H = L_{\max} / [L / h] = 2,3 / 1,4 = 1,6 \text{ м}$$

Висота звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 3 - 1 - 1,6 = 0,4 \text{ м}$$

Чисельне значення індексу приміщення:

$$I = A \cdot B / (h \cdot (A + B)) = 5,5 \cdot 4,6 / (1,6 \cdot (5,5 + 4,6)) = 1,57$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η :

$$\eta = 49 \% = 0,49$$

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні

$$\Phi_{\Sigma} = (E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z) / \eta = (200 \cdot 5,5 \cdot 4,6 \cdot 1,55 \cdot 1,1) / 4,9 = 1760 \text{ лм}$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = AB / L_{\max}^2 = 5,5 \cdot 4,6 / 2,3^2 = 4,7 = 6 \text{ шт}$$

Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \Phi_{\Sigma} / N_{\text{л}} = 1760 / 6 = 293 \text{ лм}$$

де $N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_{\text{л}} = N^* \times n = 6 \cdot 1 = 6 \text{ шт}$$

де n – кількість ламп у світильнику

тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ – КСЛ, $\Phi_{\text{л}} = 400$, потужність 7 Вт

$$M = \Phi_{\text{л}}^* / \Phi_{\text{л}} = 293 / 400 = 0,73$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \cdot m = 6 \cdot 0,73 = 4,38 \text{ шт}$$

Фактична кількість:

$$N_{\phi} = 6 \text{ шт}$$

Визначаємо розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = (\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta) / (S \cdot k_3 \cdot z) = (400 \cdot 6 \cdot 4,9) / (5,4 \cdot 4,6 \cdot 1,55 \cdot 1,1) = 272,6 \text{ лк}$$

Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 6 \cdot 7 = 42 \text{ Вт}$$

Для освітлення приміщення необхідно використати 6 світильників типу НПБ по одній лампі КСЛ у кожному, світловий потік кожної лампи $\Phi_{\text{л}} = 400$, загальна потужність світильників 42 Вт. Освітленість у приміщенні за таких умов 272,6 лк.

7.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватися вимог СНиП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будинків та споруд».

Вибір типу та визначення необхідної кількості вогнегасників виконується згідно з залежністю від протипожежної здатності вогнегасників, обмежувальної площі дії, класу пожежі в захищуваному приміщенні.

Розташування обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

Для гасіння загорянь первинний засіб пожежогасіння передбачає один вогнегасник ОУ-5.

Отже, для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені організаційні та технічні заходи, які передбачають : проведення навчань з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу на четверту або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті.

Для виключення механічних травм при підготованні зразків на абразивних кругах необхідно щоб, устрій підлокітника повинен знаходитися в правильному положенні, відстань між кругом і підлокітником не перевищувала 3 мм, абразивний круг повинен бути захищений кожухом.

Для уникнення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

Для виключення отримання хімічних опіків при травленні зразків у кислотних або лужних розчинах доцільно використовувати індивідуальні засоби захисту: окуляри захисні для захисту очей, фартухи гумові, рукавиці гумові, чоботи гумові.

Для профілактики втоми застосовують скорочену тривалість робочого дня, враховують засоби механізації, автоматизації, застосовують раціональну організацію трудового процесу, максимально скорочують статичні операції, усувають зайві прийоми у роботі.

При обладнанні робочого місця для проведення дослідницьких робіт необхідно враховувати, що конструкція всіх елементів виробничого обладнання, з якими людина в процесі трудової діяльності здійснює безпосередній контакт, повинна відповідати його антропометричним характеристикам.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціонування приміщення.

Робоче приміщення повинно бути оснащено штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площини.

Для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки. Основними організаційними заходами є наявність інструкцій з пожежної безпеки, планів евакуації співробітників в разі пожежі. Основними технічними засобами пожежної безпеки є оснащення будівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобами пожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

ВИСНОВКИ

Отже в роботі було встановлено, що особливості легування та термічної обробки сталі 50ХФА відіграють важливу роль у визначенні її механічних властивостей. Легування ресорних сталей, що включає хром та ванадій, сприяє підвищенню міцності, твердості та пластичності сталі. Термічна обробка, що складається з гартування та відпуску, націлена на досягнення оптимального балансу цих властивостей. Гартування забезпечує формування мартенситної структури, тоді як відпускання дозволяє досягнути необхідної твердості і міцності, зберігаючи при цьому певний рівень пластичності.

В дипломній роботі розроблена технологія термічної обробки, яка передбачає застосування таких параметрів як гартування і ас витримки для гартування та відпуску, адаптованих до властивостей сталі 50ХФА.

Встановлено, що високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) виявляється ефективною у підвищенні властивостей сталі 50ХФА. ВТМО, що включає високі температури та механічну деформацію, сприяє формуванню оптимальної мікро- та субструктури в сталі. Важливим є формування стабільної субструктури, яка успадковується утворюваними під час охолодження мартенситом або бейнітом, підвищуючи міцність, втомну міцність, опір руйнуванню, пластичність та ударну в'язкість сталі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біліченко В.В., Добровольський О.Л., Смирнов Є.В., Огневий В.О. Автомобілі. Робочі процеси та основи розрахунку. Проектування підвіски автомобіля / В.В. Біліченко, О.Л. Добровольський, Є.В. Смирнов, В.О. Огневий – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 78 с.
2. Радчик А.С., Буртковский И.И. Пружины и рессоры / А.С. Радчик, И.И. Буртковский – Київ: "Техніка", 1973. – 120 с.
3. Сігова В.І., Руденко Л.Ф. Технологічні процеси зміцнення та АСУ ТП: Навчальний посібник / В.І. Сігова, Л.Ф. Руденко – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 197 с.
4. Гожій С.П. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування / С.П. Гожій – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
5. Сігова В.І., Юскаєв В.Б., Будник А.Ф. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць / В.І. Сігова, В.Б. Юскаєв, А.Ф. Будник – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.
6. Рахштадт Г.М. Пружинные стали и сплавы / Г.М. Рахштадт – Москва: Металлургия, 1982. – 400 с.
7. Chen C., Jiang Z., Li Y., Sun M., Wang Q., Chen K., Li H. State of the Art in the Control of Inclusions in Spring Steel for Automobile / C. Chen, Z. Jiang, Y. Li, M. Sun, Q. Wang, K. Chen, H. Li // ISIJ International. - 2020. - № 60(4). - P. 617-627. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-513>
8. Liu P., Zhang Q.H., Watanabe Y., et al. A critical review of the recent advances in inclusion-triggered localized corrosion in steel / P. Liu, Q.H. Zhang, Y. Watanabe, et al. // npj Materials Degradation. - 2022. - № 6. - P. 81. <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00294-6>
9. Xia B., Wang B., Zhang P., Ren C., Duan Q., Li X., Zhang Z. Improving the high-cycle fatigue life of a high-strength spring steel for

automobiles by suitable shot peening and heat treatment / B. Xia, B. Wang, P. Zhang, C. Ren, Q. Duan, X. Li, Z. Zhang // International Journal of Fatigue. - 2022. - № 161. - P. 106891. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.106891>

10. Han X., Zhang Z., Rong Y., Thrush S.J., Barber G.C., Yang H., Qiu F. Bainite kinetic transformation of austempered AISI 6150 steel / X. Han, Z. Zhang, Y. Rong, S.J. Thrush, G.C. Barber, H. Yang, F. Qiu // Journal of Materials Research and Technology. - 2020. - № 9(2). - P. 1357-1364. ISSN 2238-7854. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.062>